

04-18-05

EFW/B

PTO/SB/21 (09-04)
Approved for use through 07/31/2006. OMB 0651-0031
U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

TRANSMITTAL FORM (to be used for all correspondence after initial filing)	Application Number	09/995,125
	Filing Date	November 27, 2001
	First Named Inventor	ALBIN CZERNICHOWSKI
	Art Unit	2821
	Examiner Name	EPHREM ALEMU
Total Number of Pages in This Submission	Attorney Docket Number	WES-105(US)

ENCLOSURES (Check all that apply)		
<input type="checkbox"/> Fee Transmittal Form <input type="checkbox"/> Fee Attached <input type="checkbox"/> Amendment/Reply <input type="checkbox"/> After Final <input type="checkbox"/> Affidavits/declaration(s) <input type="checkbox"/> Extension of Time Request <input type="checkbox"/> Express Abandonment Request <input type="checkbox"/> Information Disclosure Statement <input checked="" type="checkbox"/> Certified Copy of Priority Document(s) <input type="checkbox"/> Reply to Missing Parts/ Incomplete Application <input type="checkbox"/> Reply to Missing Parts under 37 CFR 1.52 or 1.53	<input type="checkbox"/> Drawing(s) <input type="checkbox"/> Licensing-related Papers <input type="checkbox"/> Petition <input type="checkbox"/> Petition to Convert to a Provisional Application <input type="checkbox"/> Power of Attorney, Revocation Change of Correspondence Address <input type="checkbox"/> Terminal Disclaimer <input type="checkbox"/> Request for Refund <input type="checkbox"/> CD, Number of CD(s) _____ <input type="checkbox"/> Landscape Table on CD	<input type="checkbox"/> After Allowance Communication to TC <input type="checkbox"/> Appeal Communication to Board of Appeals and Interferences <input type="checkbox"/> Appeal Communication to TC (Appeal Notice, Brief, Reply Brief) <input type="checkbox"/> Proprietary Information <input type="checkbox"/> Status Letter <input checked="" type="checkbox"/> Other Enclosure(s) (please identify below): 1. Official Filing Receipt 2. Copy of Declaration for Utility Patent Application submitted with Initial Filing, 11/27/2001.
Remarks Received Notice Of Allowance, mailed March 29, 2005, for which Issue Fee has not been paid. Priority under 35 USC 119(a)-(d) or (f) has been claimed at the time of filing of November 27, 2001. (See Official Filing Receipt).		

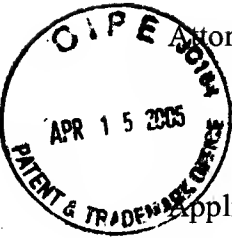
SIGNATURE OF APPLICANT, ATTORNEY, OR AGENT			
Firm Name	PILLSBURY WINTHROP SHAW PITTMAN LLP		
Signature			
Printed name	HANS-PETER G. HOFFMANN		
Date	APRIL 15, 2005	Reg. No.	37,352

CERTIFICATE OF TRANSMISSION/MAILING			
I hereby certify that this correspondence is being facsimile transmitted to the USPTO or deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on the date shown below:			
Signature			
Typed or printed name		Date	

This collection of information is required by 37 CFR 1.5. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.11 and 1.14. This collection is estimated to 2 hours to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

BEST AVAILABLE COPY



Attorney Docket No.: WES-105(US)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application Number : 09/995,125
Filing Date : November 27, 2001
Applicant(s) : ALBIN CZERNICHOWSKI
Group Art Unit : 2821
Examiner : EPHREM ALEMU
Title : SYSTEM AND METHOD FOR IGNITION AND REIGNITION
OF UNSTABLE ELECTRICAL DISCHARGES

CERTIFICATE OF EXPRESS MAIL (37 C.F.R. §1.10(a))

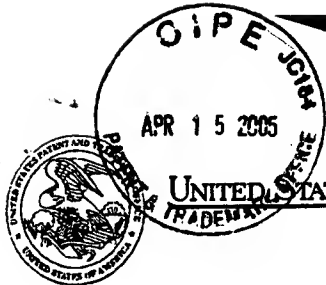
I hereby certify that this paper (along with any referred to as being deposited) was deposited with the United States Postal Service on the date shown below with sufficient postage as Express Mail with Express Mail Label No.: **EU 454412235US** in an envelope addressed to Mail Stop ISSUE FEE, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Date: April 15, 2005

Valerie M. Terribery
(Type or Print Name of Mailer)

Valerie M. Terribery
(Signature of Mailer)

**MAIL STOP ISSUE FEE
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450**



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

COMMISSIONER FOR PATENTS
UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
WASHINGTON, D.C. 20231
www.uspto.gov

APPLICATION NUMBER	FILING DATE	GRP ART UNIT	FIL FEE REC'D	ATTY. DOCKET NO	DRAWINGS	TOT CLAIMS	IND CLAIMS
09/995,125	11/27/2001	2817	457	SYNE1100	6	25	4

CONFIRMATION NO. 9752

25094
GRAY, CARY, WARE & FREIDENRICH LLP
1221 SOUTH MOPAC EXPRESSWAY
SUITE 400
AUSTIN, TX 78746-6875

DOCKETED**JAN 28 2002**

GRAYCARY/S LANG

FILING RECEIPT

OC000000007348691

Date Mailed: 01/23/2002

Receipt is acknowledged of this nonprovisional Patent Application. It will be considered in its order and you will be notified as to the results of the examination. Be sure to provide the U.S. APPLICATION NUMBER, FILING DATE, NAME OF APPLICANT, and TITLE OF INVENTION when inquiring about this application. Fees transmitted by check or draft are subject to collection. Please verify the accuracy of the data presented on this receipt. If an error is noted on this Filing Receipt, please write to the Office of Initial Patent Examination's Customer Service Center. Please provide a copy of this Filing Receipt with the changes noted thereon. If you received a "Notice to File Missing Parts" for this application, please submit any corrections to this Filing Receipt with your reply to the Notice. When the USPTO processes the reply to the Notice, the USPTO will generate another Filing Receipt incorporating the requested corrections (if appropriate).

Applicant(s)

Albin Czernichowski, Orleans, FRANCE;
Bogdan Hnatiuc, Iasi, ROMANIA;
Peter Pastva, Pontoise, FRANCE;
Albert Ranaivosoloarimanana, Nova Calodonia, FRANCE;

Domestic Priority data as claimed by applicant**Foreign Applications**

FRANCE 00.15537 11/27/2000

If Required, Foreign Filing License Granted 01/23/2002

Projected Publication Date: 05/30/2002

Non-Publication Request: No

Early Publication Request: No

**** SMALL ENTITY ******Title**

System and method for ignition and reignition of unstable electrical discharges

Preliminary Class

**LICENSE FOR FOREIGN FILING UNDER
Title 35, United States Code, Section 184
Title 37, Code of Federal Regulations, 5.11 & 5.15**

GRANTED

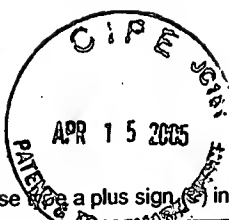
The applicant has been granted a license under 35 U.S.C. 184, if the phrase "IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED" followed by a date appears on this form. Such licenses are issued in all applications where the conditions for issuance of a license have been met, regardless of whether or not a license may be required as set forth in 37 CFR 5.15. The scope and limitations of this license are set forth in 37 CFR 5.15(a) unless an earlier license has been issued under 37 CFR 5.15(b). The license is subject to revocation upon written notification. The date indicated is the effective date of the license, unless an earlier license of similar scope has been granted under 37 CFR 5.13 or 5.14.

This license is to be retained by the licensee and may be used at any time on or after the effective date thereof unless it is revoked. This license is automatically transferred to any related applications(s) filed under 37 CFR 1.53(d). This license is not retroactive.

The grant of a license does not in any way lessen the responsibility of a licensee for the security of the subject matter as imposed by any Government contract or the provisions of existing laws relating to espionage and the national security or the export of technical data. Licensees should apprise themselves of current regulations especially with respect to certain countries, of other agencies, particularly the Office of Defense Trade Controls, Department of State (with respect to Arms, Munitions and Implements of War (22 CFR 121-128)); the Office of Export Administration, Department of Commerce (15 CFR 370.10 (j)); the Office of Foreign Assets Control, Department of Treasury (31 CFR Parts 500+) and the Department of Energy.

NOT GRANTED

No license under 35 U.S.C. 184 has been granted at this time, if the phrase "IF REQUIRED, FOREIGN FILING LICENSE GRANTED" DOES NOT appear on this form. Applicant may still petition for a license under 37 CFR 5.12, if a license is desired before the expiration of 6 months from the filing date of the application. If 6 months has lapsed from the filing date of this application and the licensee has not received any indication of a secrecy order under 35 U.S.C. 181, the licensee may foreign file the application pursuant to 37 CFR 5.15(b).



Please use a plus sign (+) inside this box

PTO/SB/01

**DECLARATION FOR
UTILITY OR DESIGN
PATENT APPLICATION
(37 CFR 1.63)**

Attorney Docket No.	SYNE1100
First Named Inventor	Albin Czernichowski, et al.
COMPLETE IF KNOWN	
Application Number	
Filing Date	November 27, 2001
Group Art Unit	
Examiner Name	

☒ Declaration Submitted with Initial Filing ☐ Declaration Submitted after Initial Filing

As a below named inventor, I hereby declare that:

My residence, post office address, and citizenship are as stated below to my name.

I believe I am the original, first and sole inventor (if only one name is listed below) or an original, first and joint inventor (if plural names are listed below) of the subject matter which is claimed and for which a patent is sought on the invention entitled:

Systems and Methods for Ignition and Reignition of Unstable Electrical Discharges

(Title of Invention)

the specification of which was filed on (MM/DD/YYYY)

as United States Application Number of PCT International Application Number

and was amended on (MM/DD/YYYY) (if applicable)

I hereby state that I have reviewed and understand the contents of the above identified specification, including the claims, as amended by any amendment specifically referred to above.

I hereby state I do not know and do not believe that said invention, design or discovery was ever known or used in the United States of America before my invention or discovery thereof, or patented or described in any printed publication in any country before my invention or discovery thereof, or more than one year prior to this application, or in public use or on sale in the United States of America more than one year prior to this application; that said invention, design or discovery has not been patented or made the subject of an inventor's certificate issued prior to the date of this application in any country foreign to the United States of America on an application filed by me or my legal representatives or assigns; and that I acknowledge the duty to disclose to the U.S. Patent and Trademark Office all information known to me which is material to the patentability as defined in 37 CFR 1.56.

I hereby claim foreign priority benefits under 35 U.S.C. 119(a)-(d) or 365(b) of any foreign application(s) for patent or inventor's certificate, or 365(a) of any PCT international application which designated at least one country other than the United States of America, listed below and have also identified below, by checking the box, any foreign application for patent or inventor's certificate, or of any PCT international application having a filing date before that of the application on which priority is claimed.

Prior Foreign Application Number(s)	Country	Foreign Filing Date (MM/DD/YYYY)	Priority Not Claimed	Certified Copy Attached? YES NO	
00.15537	France	November 27, 2000			<input checked="" type="checkbox"/>

Additional foreign application numbers are listed on a supplemental priority data sheet PTO/SB/02B attached hereto:

I hereby claim the benefit under 35 U.S.C. 119(e) of any United States provisional application(s) listed below:

Application Number(s)	Filing Date (MM/DD/YYYY)	<input type="checkbox"/> Additional provisional application numbers are listed on a supplemental priority data sheet PTO/SB/02B attached hereto

DECLARATION -- Utility or Design Patent Application

I hereby claim the benefit under 35 U.S.C. 120 of any United States Application(s), or 365(c) of any PCT international application designating the United States of America, listed below and, insofar as the subject matter of each of the claims of this application is not disclosed in the prior United States or PCT International application in the manner provided by the first paragraph of 35 U.S.C. 112, I acknowledge the duty to disclose information which is material to patentability as defined in 37 CFR 1.56 which became available between the filing date of the prior application and the national or PCT international filing date of this application.

U.S. Parent Application or PCT Parent Number	Parent Filing Date (MM/DD/YYYY)	Parent Patent Number (If applicable)

Additional U.S. or PCT international application numbers are listed on a supplemental priority data sheet PTO/SB/02B attached hereto.

As a named inventor, I hereby appoint the following registered practitioner(s) assigned to Customer No. 25094 to prosecute this application and to transact all business in the Patent and Trademark Office connected therewith

I hereby declare that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true, and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under 18 U.S.C. 1001 and that such willful false statements may jeopardize the validity of the application or any patent issued thereon.

Name of Sole/First Inventor:							
Given Name (first and middle (if any))				Family Name or Surname			
Albin				Czernichowski			
Inventor's Signature	<i>Albin Czernichowski</i>			Date	November 18, 2001		
Residence: City		State		Country	France	Citizenship	French
Residence Address	21, rue François Marchand 45100 Orleans, France						
Post Office Address	Same						
Name of Additional Inventor:							
Given Name (first and middle (if any))				Family Name or Surname			
Bogdan				Hnatiuc			
Inventor's Signature				Date			
Residence: City		State		Country	Romania	Citizenship	Romanian
Residence Address	28 Alea Rozelor, Bl. A8, Sc. A, Et. III, Ap. 12 6600 Iasi, Romania						
Post Office Address	Same						
Name of Additional Inventor:							
Given Name (first and middle (if any))				Family Name or Surname			
Peter				Pastva			
Inventor's Signature	<i>Peter Pastva</i>			Date	November 18, 2001		
Residence: City		State		Country	France	Citizenship	Slovak
Post Office Address	11 rue Pierre Butin 95300 Pontoise, France						

As a named inventor, I hereby appoint the following registered practitioner(s) assigned to Customer No. 25094 to prosecute this application and to transact all business in the Patent and Trademark Office connected therewith.

I hereby declare that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under 18 U.S.C. 1001 and that such willful false statements may jeopardize the validity of the application or any patent issued thereon.

Name of Sole/First Inventor:							
Given Name (first and middle (if any))				Family Name or Surname			
Albin				Czemichowski			
Inventor's Signature				Date			
Residence: City		State		Country	France	Citizenship	French
Residence Address	21, rue François Marchand 45100 Orleans, France						
Post Office Address	Same						
Name of Additional Inventor:							
Given Name (first and middle (if any))				Family Name or Surname			
Bogdan				Hnatiuc			
Inventor's Signature	Hnatiuc B.			Date	18.11.2001		
Residence: City		State		Country	Romania	Citizenship	Romanian
Residence Address	28 Aleea Rozelor, Bl. A8, Sc. A, Et. III, Ap. 12 6600 Iasi, Romania						
Post Office Address	Same						
Name of Additional Inventor:							
Given Name (first and middle (if any))				Family Name or Surname			
Peter				Pastva			
Inventor's Signature				Date			
Residence: City		State		Country	France	Citizenship	Slovak
Post Office Address	11 rue Pierre Butin 95300 Pontoise, France						

Name of Additional Inventor:			
Given Name (first and middle [if any])		Family Name or Surname	
Albert		Ranaivosoloarimanana	
Inventor's Signature	Date	20 November 2001	
Residence City	State	Country	Citizenship
		France	Madagascar
Post Office Address			
Residence Saint Michel, rue du Trouville - BP 13826			
98803 Nouméa, Nova Calodonia, France			

Direct all correspondence to Customer No. 25094:					
Name	Mark L. Berrier		Gray Cary Ware & Freidenrich LLP		
Address	1221 So. MoPac Expressway, Suite 400				
City	Austin	State	TX	Zip	78746
Country	U.S.A.	Telephone	(512) 457-7016	Fax	(512) 457-7001

BREVET D'INVENTION, CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle-Livre VI

cerfa

N° 55-1328

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

BREVET DE
PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

de Saint Pétersbourg

Paris Cedex 08

Télécopie : (1) 42.94.52.52

Réservé à l'INPI

DE REMISE DES PIÈCES

27 NOV. 2000

D'ENREGISTREMENT NATIONAL

182

DÉPARTEMENT DE DÉPÔT

45

DATE DE DÉPÔT

27 NOV. 2000

0015537

Mme WESOLOWSKA Krystyna
SARL ECP
21, Rue François Marchand
45100 - ORLEANS.

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention☐ demande divisionnaire☐ certificat d'utilité☐ transformation d'une demande de brevet européen

demande initiale

☐ brevet d'invention☐ certificat d'utilité n°

date

Établissement du rapport de recherche

☐ diffère☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

☐ oui☒ non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

GENERATEURS ET CIRCUITS ELECTRIQUES POUR ALIMENTER
DES DECHARGES INSTABLES DE HAUTE TENSION

0238.63.49.46

3 DEMANDEUR (S)

n° SIREN

4.15.060.07.B

code APE-NAF

7.3.1.Z

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

ETUDES PHYSIQUES ET CHIMIQUES (ECP)

Forme juridique

SARL

Nationalité (s)

FR

Adresse (s) complète (s)

21, RUE FRANÇOIS MARCHAND
45100 ORLEANS

Pays

FRANCE

En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre ☐

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

☐ oui☒ non

Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

☐ requise pour la 1ère fois☐ requise antérieurement au dépôt : joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

BEST AVAILABLE COPY

7 DIVISIONS

antérieures à la présente demande

n°

date

n°

date

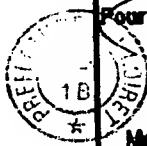
8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire - n° d'inscription)

K. Wesolowska

GERANTE

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION
Pour le Préfet et par délégation
Le Chef de Bureau



Marie-Solange PUTET

SIGNATURE APRES ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE A L'INPI

SARL **Etudes Chimiques et Physiques (ECP)**

siège: 21 rue François Marchand, 45100 ORLEANS

tél./fax 0238 631 590, GSM 0 670 700 352

EChPh@wanadoo.fr

0015537

Désignation des inventeurs

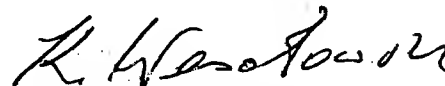
Titre de l'invention : GENERATEURS ET CIRCUITS ELECTRIQUES POUR ALIMENTER
DES DECHARGES INSTABLES DE HAUTE TENSION

Demandeur : Etudes Chimiques et Physiques (ECP), Sarl
21, rue François Marchand, 45100 Orléans, France

Désignation des inventeurs : Albin Czemichowski, 21, rue François Marchand, 45100 Orléans,
France
Bogdan Hnatiuc, 28 Aleea Rozelor, Bl. A8, Sc. A, Et. III, Ap.12, 6600
Iasi, Roumanie
Peter Pastva, 11 rue Pierre Butin, 95300 Pontoise, France
Albert Ranaivosoloarimanana, Résidence "La Tour Saint Louis",
5 Quater, Boulevard Rocheplatte, 45000 Orléans, France

Mandataire : Albin Czemichowski, 21, rue François Marchand, 45100 Orléans,
France

Orléans, le 27 novembre 2000



K. Wesolowska
gérante

0015537

L'invention ici décrite propose plusieurs générateurs et circuits électriques pour alimenter de très instables décharges de haute tension.

L'une de ces décharges, appelé le GlidArc, a déjà été proposée pour de multiples applications industrielles. Plusieurs décharges GlidArc peuvent être associées entre elles dans un seul dispositif. L'invention ici décrite propose donc également des générateurs et des circuits pour alimenter certaines structures à décharges multiples.

Pour un traitement plasmachimique, par exemple une destruction des molécules polluantes dans l'air ou une conversion d'un gaz comportant des hydrocarbures, l'action bénéfique de décharges électriques "froides" a été démontrée depuis longtemps dans la littérature scientifique. Un générateur spécifique de plasma hors équilibre a été conçu, voir BF 88.14932 (2639172) par H. Lesueur, A. Czernichowski et J. Chapelle, pour traiter de forts débits de gaz circulant à très grande vitesse à proximité d'un système d'électrodes immobiles. Il a été constaté qu'un tel module à deux électrodes (appelé depuis GlidArc-I) est apte à développer une puissance jusqu'à environ 5 kW avant que cette simple décharge se transforme en une source thermique mal adaptée aux traitements des gaz. Donc, pour traiter un volume important de gaz, il a été nécessaire de mettre en batterie plusieurs modules, chacun accompagné d'un système d'accélération du gaz à la proximité des électrodes et d'une alimentation électrique.

Pour éviter cette accélération du gaz pour certaines applications, un nouveau principe a été imaginé : des décharges électriques qui glissent sur des électrodes mobiles, voir BF 98.02940 (2775864) par A. Czernichowski et P. Czernichowski. Ce dispositif, appelé GlidArc II, contient au moins deux électrodes dont une au minimum est mobile. Comme auparavant, les structures à électrodes multiples ont été envisagées pour le traitement de grands débits de gaz dans des systèmes à multi-étages. Chaque décharge étant évidemment, alimentée par un générateur électrique spécifique.

Les alimentations électriques primitives de ces décharges GlidArc-I ou -II sont basées sur une source continue ou alternative et une limitation de courant par une impédance en série. Cette impédance doit limiter le fort appel de courant lors de la phase d'amorçage. Sans une telle impédance il y aurait un court-circuit franc avec toutes ses conséquences néfastes pour le dispositif et pour le réseau d'alimentation. Trois types d'impédance peuvent être envisagés :

- une résistance, qui provoque une importante perte d'énergie si elle est dissipée hors du réacteur sous forme de la chaleur de Joule sans utilité pour le procédé,
- une capacité, qui se décharge très brutalement une fois le chemin d'amorçage établi et qui, de ce fait, change la nature de la décharge qui devient alors trop thermalisée et donc peu propice pour effectuer le traitement plasmachimique "froid",
- une self-inductance placée en série, qui transforme un générateur de tension en générateur de courant, ce qui semble bien approprié.

Notre choix primitif s'est porté sur une auto-induction. Ce simple montage permet de disposer facilement d'une tension d'amorçage élevée, nécessaire pour un travail à caractère quasi cyclique du GlidArc. En effet, la limitation du courant par effet inductif ne semble pas créer de problèmes technologiques. De plus, il existe dans le commerce des transformateurs "à fuite". Ces transformateurs (par exemple 15 kV de tension à vide et 15 kVA de puissance) sont capables de

DOCUMENT COMPORTANT DES MODIFICATIONS

PAGE(S) DE LA DESCRIPTION OU DES REVENDICATIONS OU PLANCHE(S) DE DESSIN			R.M.*	DATE DE LA CORRESPONDANCE	TAMPON DATEUR DU CORRECTEUR
Modifiée(s)	Supprimée(s)	Ajoutée(s)			
27, 28	29, 30		RM	26/04/01	

Un changement apporté à la rédaction des revendications d'origine, sauf si celui-ci découle des dispositions de l'article R.612-36 du code de la Propriété Intellectuelle, est signalé par la mention «R.M.» (revendications modifiées).

supporter les courts-circuits francs, de s'accorder à la charge variable et de subir une surtension importante. Ils présentent cependant un très mauvais facteur de puissance (exprimé parfois comme $\cos \phi$) de l'ordre de 0,1 à 0,2 qui doit être compensé pour ramener le facteur de puissance aux environ de 1 en utilisant les condensateurs en parallèle. Cela induit un surcoût

5 d'investissement sans pour autant résoudre le problème de la faible puissance transmise au GlidArc par rapport à la puissance installée (de 10 à 20 %) ; d'où un coût d'investissement élevé. Nous avons supprimé ces défauts ou au moins nous les avons limité dans les nouveaux générateurs et circuits d'alimentation, ce qui constitue l'objet de la présente invention.

10 La description détaillée de cette décharge GlidArc voulue extrêmement instable permettra d'élucider les problèmes liés à son alimentation et ainsi de comprendre les caractéristiques recherchés d'une alimentation plus performante pour les réacteurs de taille industrielle.

Le principe du GlidArc (aussi bien I que II) repose sur une séquence quasi périodique allumage - élongation - extinction d'une série de décharges électriques à courant limité. Nous préconisons les courants inférieurs à 5 Ampères afin de se trouver dans la zone d'une "décharge autonome" encore assez mal définie et mal connue par la science, zone située entre les

15 "décharges lumineuses" et les "arcs électriques".

Au moins deux électrodes sont en contact avec la décharge. Les pieds de la décharge (qui sont les contacts galvaniques communiquant avec une source d'alimentation électrique de la décharge) glissent sur ces électrodes pour éviter leur érosion thermique et/ou corrosion chimique.

20 Le glissement des pieds de la décharge est provoqué par un mouvement rapide d'un flux (gaz, vapeur, avec ou sans poudre ou gouttelettes ...) le long des électrodes (GlidArc-I) ou par un mouvement mécanique d'au moins une des électrodes (GlidArc-II). Quelle que soit l'origine du mouvement, la colonne de décharge subit une élongation assez rapide car la distance entre les électrodes n'est pas constante ; elle augmente au fur et à mesure du mouvement des pieds. Nous

25 constatons aussi que les pieds de la décharge sont un peu difficiles à mouvoir et que c'est la colonne très longue par rapport à la position des pieds, qui provoque leur sursaut vers une nouvelle position qui raccourcit la colonne ... A cette augmentation de la distance entre les électrodes, source de l'élongation quasi progressive de la décharge, s'ajoutent des fluctuations très rapides de la colonne qui évolue dans un flux souvent turbulent. Ces fluctuations ressemblent à

30 des méandres d'une rivière, avec les mêmes coudes, courts-circuits et abandon de l'ancien lit, sauf qu'elles se passent dans un temps très court.

En plus, la colonne de décharge peut changer son diamètre à la suite d'une oscillation périodique du courant alimentant la décharge, par exemple un courant alternatif avec plusieurs passage par zéro sans que la colonne disparaisse. La colonne peut également changer son

35 diamètre à la suite des oscillations du courant électrique provoquées par des éléments actifs du circuit d'alimentation ...

Par principe même du GlidArc, nous n'atténuons ni le changement quasi progressif ni celui "en méandres" de la longueur de la colonne, nous ne limitons pas les fluctuations de son diamètre par une suppression des oscillations du courant électrique ... Bien au contraire : nous provoquons

40 et/ou entretenons tous ces phénomènes d'instabilité de la colonne pour obtenir un milieu en fort déséquilibre électrique et dynamique de flux quasi désordonné - car par ceci nous obtenons un

milieu en fort déséquilibre thermodynamique propice au traitement de la matière composant le flux en contact intime avec la décharge électrique.

Toutes ces instabilités doivent être acceptées, entretenues ou même renforcées par une alimentation électrique. Celle-ci devrait être une sorte de boîte noire qui "voit" la décharge d'un côté et qui de l'autre côté est liée à une source industrielle (par exemple un réseau triphasé 400 V). Une telle boîte de transmission doit être la plus simple possible (question économique, longévité, etc.) et la plus performante possible (rendement de transformation, filtrage des rejets électriques non conformes au réseau, etc.).

Pour simplifier, reprenons en détail le cycle de vie d'une telle décharge entre seulement deux électrodes (plusieurs électrodes dans une structure polyphasée peuvent également être impliquées dans une décharge plus complexe). Les deux électrodes (dites de puissance) sont bien évidemment éloignées l'une de l'autre car autrement nous aurions un court circuit franc. La distance la plus courte entre les électrodes devra être au moins de quelques millimètres, sinon le réglage de cette distance serait trop imprécis sachant que les électrodes et leurs supports sont placés dans un réacteur, par exemple chimique, et ne sont donc pas très accessibles. De plus, nous voulons éviter qu'une légère usure des électrodes ou des aspérités se développant sur leur surface, provoque un changement relativement important de cette distance par rapport au réglage initial. C'est à cette distance la plus courte que nous observons un amorçage électrique lorsque la tension appliquée aux électrodes dépasse la tension de claquage diélectrique dans le flux se trouvant entre les électrodes. Tout de suite après ce claquage, un petit volume de plasma, formé entre les électrodes, est entraîné par le mouvement de gaz (GlidArc-I) ou par le mouvement d'une électrode par rapport à l'autre (GlidArc-II ; dans ce cas l'entraînement est éventuellement aidé par ce flux de gaz ou autre matière diluée). La vitesse de déplacement de la décharge dépend principalement de la vitesse de flux et/ou de la vitesse de déplacement mécanique d'une (ou deux) électrode(s). La colonne de décharge commence à s'allonger car par principe même du GlidArc la distance entre les électrodes augmente dans la direction du flux (par exemple les électrodes sont divergentes). En même temps, la tension aux bornes des électrodes croît pour essayer de compenser les pertes d'énergie par la colonne de plus en plus longue. Durant cette phase, la décharge (ou plutôt un quasi arc) est en régime proche de l'équilibre thermodynamique, c'est-à-dire qu'en chaque point du plasma, la température des électrons est voisine de la température du gaz. Ce régime résulte de la fréquence élevée de collisions entre les électrons et les molécules ; la puissance électrique fournie par unité de longueur de la décharge est suffisante pour compenser les pertes radiales subies par la colonne à cause d'une conduction thermique. Cette phase d'équilibre se poursuit avec la décharge qui continue de s'allonger jusqu'au moment où la puissance pouvant être fournie par le générateur d'alimentation de la décharge atteint sa valeur maximale. A partir de ce moment, alors que les pertes par conduction thermique continuent d'augmenter, la décharge entre dans sa phase de déséquilibre thermique et on constate une chute importante de la température du gaz. Par contre, la température des électrons reste très élevée. Par suite de la diminution de la température du gaz, les pertes de chaleur diminuent, la longueur du plasma hors équilibre peut alors continuer de croître jusqu'au moment où les pertes de chaleur deviennent supérieures à la puissance disponible dans la décharge. Alors la décharge s'éteint et

une nouvelle décharge s'établit entre les points les plus proches des deux électrodes et le cycle d'allumage, de vie et d'extinction recommence.

Le réacteur à GlidArc nécessite donc, pour son fonctionnement, des générateurs de puissance spéciaux. Le générateur doit à la fois fournir une tension assez haute pour amorcer la décharge et ensuite, lorsque la tension de la décharge chute, il doit fournir une puissance limitée. Ainsi sa caractéristique courant - tension doit "tomber" rapidement après l'amorçage.

La seconde phase de vie de la décharge, celle de déséquilibre thermique et électrique pendant laquelle jusqu'à 80 % d'énergie est injectée, s'avère particulièrement intéressante pour stimuler une réaction chimique. Les décharges actives, ainsi créées dans les dispositifs GlidArc, peuvent balayer presque tout le flux. Dans le dispositif GlidArc-I c'est le flux de matière (par exemple un gaz) qui traverse la colonne un peu moins rapidement que le flux qui la pousse. Dans le GlidArc-II il n'est plus nécessaire d'accélérer ce flux à proximité des électrodes car la vitesse de déplacement de la décharge est déterminée par le mouvement d'une électrode ... La quasi-totalité du flux est alors soumise aux électrons, aux ions, aux radicaux et aux particules excitées par la décharge. Ceci permet d'atteindre l'effet chimique recherché. A la suite d'une diffusion rapide et de turbulences aérodynamiques, ces espèces actives, ayant un temps de vie relativement long, arrivent même à parsemer l'espace qui n'est pas directement touché par les décharges. Ces phénomènes contribuent aussi à l'activité extraordinaire de ces décharges GlidArc.

La nature du courant et de la tension du GlidArc est telle que même leurs mesures demandent un soin exceptionnel. Ce sont surtout les variations, grandes et rapides, de la tension (10^{10} V/s) et du courant (10^8 A/s) lors de l'amorçage comme de l'extinction de chaque décharge qui provoquent des perturbations électriques. Les mêmes phénomènes peuvent être évidemment perceptibles par un générateur non protégé alimentant une telle décharge électrique.

Il est généralement possible d'établir des modèles mathématiques pour décrire les phénomènes physiques et les propriétés de décharges électriques: On y prend en compte l'évolution temporelle et spatiale des paramètres caractéristiques du plasma comme la diffusion, la conductivité électrique, la conductivité thermique, la viscosité, etc. Il y a alors 3 types de modèles: microscopique (un bilan d'énergie de tous les niveaux de tous les composants), intermédiaire (un bilan d'énergie dans la colonne de décharge décrit par les équations d'Elenbaas-Heller, éventuellement simplifié en considérant les phénomènes de radiation et de convection), ou encore plus simplifié par les réductions du bilan d'énergie faites au maximum (modèles de Cassie, de Mayr ou de Brown dans lesquels le plasma constitue la décharge électrique à conductance variable) ...

Cependant, malgré nos efforts pendant de longues années de recherche, nous ne sommes pas arrivés à proposer une description analytique qui représenterait suffisamment bien les décharges du type GlidArc. Nous disposons de centaines d'enregistrements présentant les caractéristiques Volt - Ampères de haute résolution temporelle provenant des oscilloscopes numériques rapides couplés aux ordinateurs, des caractéristiques dans différents gaz s'écoulant sous différents débits, pressions, températures, pour les décharges entre les électrodes de différentes tailles et matériaux, alimentées de façon variée ... mais malheureusement nous ne pouvons pas les utiliser pour bien envisager une alimentation qui s'accorderait suffisamment bien

avec de telles sources d'instabilité ... bien entretenue pour les raisons "chimiques". Il nous a donc été nécessaire d'inventer des nouvelles sources d'alimentation qui sont adaptées à ces décharges GlidArc.

Généralement un GlidArc peut être alimenté en courant continu, redressé, alternatif monophasé, alternatif triphasé ou alternatif polyphasé. Comme cela a déjà été mentionné, il fonctionne en régime de décharge, par rapport à un arc électrique classique, avec des tensions relativement élevées (quelques kiloVolts) et des courants plus faibles (quelques Ampères). Ainsi, pour une même puissance électrique, les courants ont des intensités beaucoup plus faibles que dans une torche classique à plasma. Une augmentation de la tension se réalise à la suite d'un allongement du canal de la décharge. Cet allongement est dû à l'une ou plusieurs causes comme :

- la forte turbulence du milieu dans lequel se développe la décharge,
- l'éloignement des électrodes l'une par rapport à l'autre,
- la façon non-thermique de la conduction du courant à travers le milieu.

Schématiquement, l'alimentation électrique d'un GlidArc doit réaliser deux fonctions qui sont : 1) amorcer la décharge, et 2) délivrer la puissance électrique dans la décharge.

La description qui suit permettra de comprendre le mode de fonctionnement de la décharge GlidArc en relation avec des alimentations déjà utilisées ou décrites dans les publications. A cette occasion nous mentionnerons des problèmes liés à ces alimentations, ce qui nous permettra de mieux situer nos nouvelles alimentations et circuits (montages), objets de la présente invention.

La Figure 1 représente un mode d'alimentation du GlidArc-I déjà décrit dans BF 88.14932 (2639172). L'alimentation en courant continu est composée de deux générateurs (G1) et (G2) branchés en parallèle aux bornes de deux électrodes. Le générateur (G1) délivre la tension nécessaire à l'initiation des décharges (~ 5 kV) pour un courant limité à 1 A. Le générateur (G2) délivre la puissance nécessaire à l'entretien de la décharge lors de sa propagation. Les tensions et courants peuvent être limités à des valeurs jusqu'à 800 V pour la tension et 60 A pour le courant (qui est exceptionnellement élevé pour une application purement thermique). Une résistance (R) réglable entre 0 et 25Ω et une self-inductance (S) de 25 mH sont branchées en série entre la borne positive du générateur (G2) et une électrode, ceci afin de limiter d'une part la composante continue et d'autre part les variations du courant. De plus, une diode (D) de découpage et de protection est placée en série avec la résistance (R) et l'inductance (S) afin de protéger (G2) vis-à-vis de la tension délivrée par (G1). La diode (D) ne devient passante que lorsque la tension aux bornes des électrodes est inférieure ou égale à la tension mesurée aux bornes du générateur (G2) (juste après l'initiation d'une décharge). Le contrôle du courant par la résistance (R) et l'inductance (S) permet de maintenir le régime de décharge en deçà du régime d'arc qui n'est pas favorable au bon fonctionnement du dispositif. Les bornes négatives des générateurs (G1) et (G2) sont reliées entre elles et constituent la borne négative de l'alimentation qui est donc reliée à l'autre électrode.

La Figure 2 présente respectivement les variations de tension aux bornes des deux électrodes, les variations du courant ainsi que de la puissance instantanée, tracées en fonction du temps pour une puissance moyenne de 9,5 kW et un débit d'air de $120 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$. L'air est canalisé par une conduite cylindrique d'un diamètre intérieur de 85 mm dans laquelle sont fixées deux

électrodes en acier. Cet enregistrement a été effectué à l'aide d'un oscilloscope numérique. On y voit un processus séquentiel ; la durée de vie d'une décharge est d'environ 6 ms, le courant moyen est de 20 A et la tension moyenne est de 480 V. La durée d'une quasi période peut être allongée ou raccourcie en fonction de la vitesse linéaire du gaz dans la zone entre électrodes, de la nature du flux et de la géométrie du GlidArc.

Cette Figure 2 montre qu'au moment de l'initiation de la décharge, la tension de claquage diélectrique, fonction de la plus petite distance entre les électrodes, devrait être de l'ordre de plusieurs kiloVolts sans que l'intensité du courant soit nécessairement grande. Un abaissement de cette tension ne peut malheureusement pas être obtenu par un rapprochement des électrodes qui doivent rester écartées d'un minimum de quelques millimètres pour des raisons mécaniques. En effet des incrustations métalliques ou des dépôts d'origine quelconque pourraient introduire des courts circuits.

Les décharges glissantes ont donc des caractéristiques variables à partir de l'instant où elles sont initiées, jusqu'à leur extinction avec, en particulier, des dissipations d'énergie qui sont croissantes au cours du temps (et qui peuvent atteindre des valeurs comparables à celles du régime d'arc). Sur la Figure 3 nous traçons le "nuage" de points expérimentaux provenant de la caractéristique courant - tension (montrée sur la Figure 2) qui correspond aux conditions de fonctionnement précédentes. Cette caractéristique met bien en évidence le fonctionnement turbulent et discontinu de cette décharge. C'est justement ce type de fonctionnement qui permet d'obtenir un plasma relativement froid (ou tiède) fortement hors équilibre thermodynamique.

Nos observations indiquent donc une chute importante de la tension entre les électrodes juste après l'amorçage. Bien que cette tension augmente le long du parcours de la décharge le long des électrodes divergentes, elle n'est jamais aussi importante que la tension atteinte entre les électrodes lors du premier claquage. En effet, les claquages successifs ne nécessitent plus une aussi haute tension que pour le premier claquage, à moins d'une interruption prolongée menant à une désactivation partielle des ions présents entre les électrodes et facilitant les rallumages successifs. En définitive, la tension moyenne entre les électrodes s'établit entre quelques centaines de Volts et 2 kV, en fonction de la nature du gaz, de sa température, de sa pression, de la distance entre les électrodes, de la forme des électrodes, etc. Par définition, cette tension est beaucoup trop basse par rapport à la tension nécessaire à l'amorçage et une alimentation "classique" à tension constante semble difficilement applicable. L'alimentation de la Figure 1 présente donc plusieurs inconvénients :

- l'usage de la résistance (R) pour limiter le courant dans le circuit principal de puissance provoque une perte Joule substantielle sous forme de chaleur dissipée inutilement hors du GlidArc,
- le courant moyen est trop élevé et la tension moyenne trop basse pour obtenir une véritable source de plasma hors équilibre pour certaines conversions chimiques ; nous sommes plutôt dans la zone d'un arc électrique,
- il faut se procurer deux sources continues ($G1$) et ($G2$) tandis que le réseau de distribution d'énergie est partout alternatif 50 (ou 60) Hz,

- il est difficile d'alimenter plusieurs électrodes à partir d'un seul générateur de ce type.

Un autre type d'alimentations en énergie électrique a été utilisé dans nos multiples travaux à l'échelle du laboratoire. Il est basé sur un système de transformateurs "à fuite" ou "enseigne lumineuse" (monophasés 50 Hz, 230 V au primaire, 10 kV au secondaire, 1 kVA, limitation selfique du courant secondaire de 0,15 A). Il s'agit de transformateurs mono- ou multi-phasés spéciaux avec une résistance magnétique accrue entre l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire (par séparation, par exemple). On peut associer plusieurs transformateurs monophasés dans un circuit (système) triphasé pour alimenter 3 ou 6 électrodes, à plusieurs niveaux de puissances (transformateurs mis en parallèle) pour les tensions efficaces "à vide" de 10 kV (ou 5 kV) entre chaque paire d'électrodes opposées ou bien 17 kV (8,5 kV) entre les électrodes voisines (24,5 kV ou 12,2 kV crête). Ce type d'alimentation n'est pas optimisé pour d'éventuelles applications industrielles. Le rendement de ces transformateurs est faible (10 – 20 %) parce qu'ils fonctionnent majoritairement à des tensions beaucoup plus basses que leur tension à vide. Nous avons également constaté une certaine perte d'énergie se manifestant par un échauffement de ces transformateurs. Cette perte a été mesurée dans un état "court-circuit franc" pour deux situations typiques :

- 3 transformateurs, 3 kVA installés, puissance perdue = 0,58 kW,
- 6 transformateurs, 6 kVA installés, puissance perdue = 0,90 kW.

Au lieu de transformateurs "à fuite" on peut utiliser des transformateurs "rigides" et des self-inductances séparées mises en série. Afin d'accroître le rendement d'une telle alimentation, le transformateur de puissance peut être connecté à plusieurs paires d'électrodes, branchées en parallèle. Dans ce cas, chaque branche doit être séparée du circuit secondaire par une inductance en série. Ces inductances servent à charger leurs branches respectives avec une chute de tension considérable (80 – 90 % de la tension nominale du transformateur). On n'évite donc pas les pertes réactives.

Les alimentations de ce type pour des décharges GlidArc présentent donc des inconvénients. En particulier leurs exigences en puissance réactive sont hautes parce que la tension initiale exigée pour amorcer la décharge est élevée. Pour un allumage fiable entre les électrodes et dans un gaz (comme air) circulant à pression atmosphérique, on exige déjà un champ électrique d'au moins 3 kV par mm d'écartement entre les électrodes. Cette valeur est encore plus élevée pour les pressions plus hautes ou pour les gaz tels que H_2S ou SO_2 qui captent des électrons libres. Le rapport entre la tension du circuit ouvert et la tension moyenne de la décharge en fonctionnement est assez élevé, ce qui veut dire que la puissance installée (réactive) est beaucoup plus grande que la puissance réellement utilisée (active). Dans la plupart des cas cette dernière devrait atteindre parfois de l'ordre de plusieurs dizaines ou centaines de kW pour des applications industrielles tandis que nous avons constaté que seulement une petite fraction de la puissance "installée" est véritablement transmise vers la décharge. Elle dépasse rarement 30 %, même pour un GlidArc bien optimisé du point de vue du flux de matière et de la distance entre les électrodes (qui devrait, comme nous l'avons déjà évoqué, être au moins de quelques millimètres car autrement son réglage serait imprécis ou affecté par un éventuel dépôt de substance traitée dans un réacteur à GlidArc). Quelques condensateurs ont été parfois connectés à l'entrée de

l'alimentation pour corriger un très mauvais facteur de puissance. Après l'amorçage de la décharge sous la tension "à vide" appliquée aux électrodes et dépassant la tension de claquage diélectrique, cette haute tension à vide ne contribue plus à l'entretien de la décharge. Cependant, un transformateur "à fuite" devra être construit de façon à supporter cette tension. La solution de séparation de la fonction d'amorçage et de la fonction d'entretien de la décharge, comme celle déjà présentée sur la Figure 1, semble alors être plus avantageuse.

Une autre solution du problème d'alimentation a été proposée par J.E. Harry dans un brevet WO95/06225. La Figure 4 résume cette solution dans laquelle on place une électrode supplémentaire (2) entre deux électrodes principales (1). L'usage de cette troisième électrode de haute tension, séparée de l'alimentation principale de puissance (A_p) à une plus basse tension, permettrait d'augmenter la séparation des électrodes de puissance. Les deux électrodes principales (1) sont alimentées par un générateur principal de courant alternatif (A_p). Entre ces deux électrodes et de façon non-symétrique on pose une électrode d'allumage (2) alimentée en courant redressé tirée d'une alimentation auxiliaire (A_a) de puissance de moins de 500 W. Les deux alimentations sont connectées par un point commun (P) de sorte que entre l'électrode (2) et une des deux électrodes (1) on dépasse la tension de claquage diélectrique. Une assez puissante étincelle (de courant environ 0,1 A) peut donc être produite provoquant une ionisation du gaz à la proximité de ces électrodes. Cela est suffisant pour établir une décharge principale entre deux électrodes (1). Ainsi la tension à vide du générateur principal (A_p) a pu être réduite de moitié. La Figure 4 montre cependant la présence d'une résistance (R_p) en série par rapport au circuit principal de puissance, elle est donc une source de pertes d'énergie de Joule dissipée hors du dispositif GlidArc.

Une autre solution du problème d'allumage de la décharge a été proposée dans une application roumaine N°112225B (1994) par E. Hnatiuc et B. Hnatiuc. La solution présentée sur la Figure 5 consiste à placer deux électrodes auxiliaires (A_1) et (A_2) entre les électrodes principales (E_1) et (E_2). Ces électrodes auxiliaires sont alimentées indépendamment à partir d'une source supplémentaire qui ressemble à celle utilisée pour l'allumage électronique d'une voiture, voir la Figure 6. Elle est de haute tension et de faible puissance. Cette alimentation favorise l'amorçage d'une décharge électrique "pilote" qui pré-ionise l'espace entre les électrodes principales (E_1) et (E_2) et permet l'amorçage de la décharge principale aux tensions d'alimentation beaucoup plus réduites. Cela permet d'augmenter le rendement énergétique de l'alimentation jusqu'à 70 %. La commande et le réglage du fonctionnement de ce dispositif GlidArc-I se font par la modification de la phase des impulsions de commande appliquées sur la grille de commande d'un thyristor (T) placé au primaire d'une bobine d'induction (BS) dont le secondaire est connecté aux électrodes auxiliaires (A_1) et (A_2). Les impulsions de commande sont générées par un circuit intégré. L'ensemble de l'alimentation électrique de puissance contient aussi une bobine de réactance (R) en série pour limiter le courant dans le circuit principal.

Pour certaines applications il peut être cependant difficile d'adjoindre deux électrodes auxiliaires dans la zone d'amorçage pour le réacteur GlidArc-I. En plus, ce principe ne peut pas être utilisé pour alimenter le réacteur de type GlidArc II. Le réglage de la distance entre les

électrodes principales (qui change les performances du dispositif) et le réglage simultané de la position des électrodes auxiliaires posent des problèmes technologiques importants.

Une autre alimentation électrique du GlidArc a été proposée dans un brevet polonais PL301836A1 (1994) par T. Janowski et D. Stryczewska. La Figure 7 présente cette solution basée sur trois transformateurs monophasés ($Tr1$), ($Tr2$) et ($Tr3$) qui sont alimentés à 230 V par trois phases du réseau ($e1$), ($e2$) et ($e3$) en étoile, 50 Hz, 400 V. Ainsi les trois électrodes principales du GlidArc sont alimentées en courant triphasé de moyenne tension jusqu'à environ 2 kV avec la possibilité de régler cette tension (et ainsi la puissance dissipée) dans une fourchette d'environ 10 %. Trois condensateurs ($C1$), ($C2$) et ($C3$) sont montés en amont de l'alimentation pour corriger le facteur de puissance. Ces transformateurs principaux ont un caractère inductif marqué par les inductances ($z1$), ($z2$) et ($z3$) en série. Un quatrième transformateur ($Tr4$) récupère une assez faible pulsation due à une quasi saturation magnétique des noyaux des transformateurs principaux entre le nœud flottant du circuit primaire de ($Tr1$), ($Tr2$) et ($Tr3$) et le neutre du réseau électrique. Ainsi on retrouve au primaire du système d'alimentation une tension faible à fréquence triple (150 Hz) qui est ensuite transformée par ($Tr4$) à un niveau de l'ordre de 12 kV. Cette tension élevée amorce une décharge de 20 mA et ainsi effectue une préionisation à l'endroit où les trois électrodes principales de puissance sont le plus rapprochées (environ 2 mm). A cet instant, les tensions issues des transformateurs ($Tr1$), ($Tr2$) et ($Tr3$) assurent le relais en fournissant l'énergie électrique pour maintenir des décharges GlidArc qui se développent entre les électrodes principales selon la rotation du champ électrique. Pendant le régime de fonctionnement des décharges principales, le secondaire du transformateur ($Tr4$) subit un court-circuit au travers de ces décharges.

Néanmoins, le système de la Fig. 7 nécessite l'utilisation d'un transformateur spécifique qui fonctionne en régime de noyau magnétique quasi saturé car c'est la non linéarité de la caractéristique magnétique du noyau qui provoque une tension alternative de 150 Hz entre le point commun des enroulements primaires et le neutre. Sans cette tension, une génération de haute tension d'allumage ne pourrait pas être réalisée.

La présente invention propose ci-dessous plusieurs autres générateurs électriques et circuits spécifiques nouveaux pour améliorer l'alimentation d'une très instable décharge de haute tension et de courant relativement faible telle que GlidArc-I ou GlidArc-II.

A. Electrode d'allumage et de rallumage implantée au milieu géométrique de deux ou plusieurs électrodes de puissance et alimentée indépendamment du circuit principal de puissance

Comme présenté sur la Figure 8, le circuit d'allumage et de rallumage (3) et (4) est réalisé indépendamment du circuit principal de puissance alimentant les électrodes principales (1) d'une très instable décharge électrique. Ce montage est particulièrement adapté aux dispositifs du type GlidArc-I. Il comporte un système transistorisé d'allumage et de rallumage externe avec une électrode supplémentaire (2) implantée au milieu géométrique de deux ou plusieurs électrodes principales de puissance. A titre d'exemple, la tension (V_D) d'alimentation du transformateur (3) est de 33 V tandis que la capacité de séparation (C_S) est de 2 nF. Ce montage permet une utilisation de transformateurs commerciaux de puissance sans qu'ils soient construits de façon spécifique

pour assurer une saturation des noyaux magnétiques pour engendrer un effet non-linéaire ayant pour but d'assurer une fonction de multiplicateurs ferromagnétiques.

Pendant l'ouverture du transistor de puissance ("niveau haut" de l'oscillateur), l'intensité de courant électrique (I_D) augmente selon la loi exponentielle :

$$5 \quad I_D = I_0 (1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}}) \quad (1)$$

définie par la constante de temps :

$$\tau_i = L_1 / (R_1 + R_{DS} + R_r) \quad (2)$$

et par le courant d'équilibre :

$$I_0 = V_D / (R_1 + R_{DS} + R_r); \quad (3)$$

10 où L_1 est l'inductance de l'enroulement primaire du transformateur, R_1 la résistance ohmique de l'enroulement, R_{DS} est la résistance "drain-source" du transistor et R_v la résistance interne de l'alimentation (V_D). L'enroulement secondaire du transformateur (3) d'impulsions de haute tension comporte beaucoup plus de spires que l'enroulement primaire. Les variations rapides du flux magnétique dans le noyau provoquent donc une grande force électromotrice dans le circuit
15 secondaire. Lors de l'interruption du circuit primaire (passage "niveau haut" → "zéro" de l'oscillateur), la tension induite (U) peut être exprimée selon la formule (sans tenir compte des capacités parasites du circuit) :

$$U = -k \sqrt{L_1 L_2} \frac{dI_D}{dt}, \quad k \in \{0,1\}. \quad (4)$$

L'amplitude de la tension (U) peut être donc gouvernée par :

- 20 • La vitesse de la variation de l'intensité de courant (I_D) ; elle est donnée par la caractéristique dynamique du transistor utilisé ;
- L'amplitude de l'intensité de courant (I_D) lors de l'interruption du circuit primaire ; en l'occurrence celle-ci peut être contrôlée par le temps d'ouverture du transistor selon la formule (1).

25 Le condensateur (C_S) sépare le circuit d'allumage du circuit d'alimentation principale : il empêche que le courant électrique de l'alimentation principale du GlidArc passe, après l'amorçage, par le transformateur d'impulsions. Par conséquent, la tension d'allumage (U_A) est réduite à une valeur :

$$U_A = U \frac{C_S}{C_S + C_P}, \quad (5)$$

30 où (C_P) représente les capacités parasites du câble. Afin de garder (U_A) au maximum il faut s'assurer que (C_P) << (C_S) c'est-à-dire qu'il faut raccourcir le câble au maximum, bien dimensionner son isolation et le cheminement.

A cause de la capacité parasite (C_T) de l'enroulement du transformateur, le circuit secondaire ressemble à un circuit oscillant RLC, dont le comportement dépend de la qualité

$Q = \sqrt{\frac{L_2}{R_2^2 C_T}}$ du circuit (R_2 - résistance de l'enroulement secondaire du transformateur). Un

modèle théorique de ce type de circuit oscillatoire avec atténuation prévoit que si $Q > 1/2$ (c'était le cas de nos expériences), la tension (U) de sortie est sous forme d'oscillations de fréquence

$f_0 = 1/2\pi\sqrt{L_2 C_T}$, l'enveloppe desquelles est atténuée avec une constante de temps d'environ

L_2 / R_2 . En modifiant la fréquence de répétition des impulsions de haute tension, on peut modifier

5 le régime des décharges électriques liant cette électrode d'allumage avec une électrode de puissance :

- Si le temps entre deux impulsions est supérieur au temps de relaxation des oscillations, la décharge se présente sous forme d'étincelles individuelles, séparées temporellement les unes des autres.
- 10 - Si le temps entre deux impulsions est inférieur au temps de relaxation des oscillations, il n'existe plus de barrières entre les étincelles. La décharge est donc continue et ressemble à une décharge lumineuse alternative de fréquence f_0 .

Ce dernier régime ne semble pas être avantageux pour l'allumage et le rallumage d'une très instable décharge électrique de haute tension, par exemple un GlidArc, puisque le

15 transformateur d'impulsion reste en court-circuit quasi permanent. En revanche, le temps entre deux étincelles individuelles doit être bien inférieur à la période d'un cycle du GlidArc (amorçage – extinction – rallumage) afin de minimiser le temps mort entre deux décharges. Il est donc préférable d'ajuster les paramètres du circuit oscillatoire RLC de sorte que $Q \approx 1/2$. C'est le cas où l'énergie électromagnétique du circuit est transmise dans la décharge le plus rapidement.

20 Pendant nos essais d'optimisation de l'alimentation ici décrits en nous avons constaté un fait nouveau lié à la forme de l'électrode d'allumage (2). Contrairement à sa forme oblique proposée par J.E. Harry sur la Figure 4 (extraite de son brevet), nous proposons une forme très pointue présentée sur la Figure 9b. Elle ressemble à l'ossature d'un parapluie partiellement ouvert ou autrement à une étoile (vue d'en-dessus) dont chacune de ses branches tend vers une des

25 électrodes principales. Cette forme permet d'amorcer les décharges entre des électrodes beaucoup plus éloignées que celles de la Figure 9a.

En effet, la distance entre les électrodes principales (1) du GlidArc-I ne devrait pas trop différer du diamètre de la buse d'arrivée du flux. Par exemple, pour un grand débit de gaz ce diamètre peut atteindre quelques centimètres. La distance entre les électrodes doit donc être

30 adaptée à ce diamètre et, par conséquent, la tension d'amorçage du GlidArc s'accroît. Un système, qui peut résoudre ce problème est basé sur l'utilisation d'une électrode supplémentaire d'allumage et de rallumage (2) placée dans la zone d'amorçage au milieu géométrique entre les électrodes (1) et dont la forme est présentée sur la Figure 9b. Cette électrode supplémentaire est portée à une très haute tension (plusieurs dizaines de kV), qui se superpose au potentiel électrique des

35 électrodes principales (1) de quelques kV. Cette haute tension peut être fournie par exemple par un générateur présenté sur la Figure 8. Par conséquent l'étincelle s'amorce dans le champ électrique tournant successivement entre chacune des électrodes principales (il y en a six présentées à titre d'exemple sur la Figure 8, chacune étant connectée à un générateur hexa-phasé de 50 ou 60 Hz) et l'électrode d'allumage et de rallumage (2) en couvrant ainsi la zone entière

d'amorçage et ceci malgré des petites inégalités dans les distances entre les électrodes. Ces décharges électriques de très courte durée (typiquement des dizaines de μs - selon la caractéristique du circuit d'allumage) forment entre les électrodes une zone conductible de gaz ionisé qui fait un chemin de courant pour le circuit principal et donc amorce le GlidArc-I. De plus, pendant le fonctionnement du GlidArc-I, l'amorçage se produit de façon automatique et sélective : c'est l'électrode se trouvant sans décharge et, par conséquent, sur un potentiel électrique plus élevé que celui des autres électrodes, qui est court-circuitée en premier par une étincelle. Etant donné que l'alimentation principale peut être, dans ce cas, conçue pour des tensions de sortie moins élevées, son rendement est accru de façon très significative.

La forme de l'électrode d'allumage et de rallumage présentée sur la Figure 9b a été conçue compte tenu de quatre différents aspects :

- *Aspect de l'allumage.*

L'électrode d'allumage et de rallumage est en forme d'étoile (vu d'en-dessus), dont chacune des n branches (où n est le nombre de phases de l'alimentation principale ; sur la Figure 9 on présente un cas de circuit hexa-phasé) tend vers une des électrodes principales (1) qui sont tellement éloignées les unes des autres que sans l'électrode (2) activée par le circuit d'allumage et de rallumage la décharge principale ne pourrait jamais s'amorcer toute seule. Après l'amorçage du GlidArc-I, cette électrode sert de pont de court-circuit des électrodes principales : ces décharges très instables glissent sur l'électrode centrale dans le flux de gaz (Figure 9b) jusqu'à ce qu'elles se rejoignent au milieu entre les électrodes. Ce phénomène peut être produit grâce à la forme divergente (vue de côté) de l'électrode centrale (2.) Après cela, les décharges se propagent librement entre les électrodes principales (1) jusqu'à l'extinction.

- *Aspect du flux de gaz.*

La forme de l'électrode d'allumage et de rallumage (2) est aussi adaptée au flux qui la contourne. Le flux passe entre les branches de l'étoile et facilite le glissement des décharges sur l'électrode sans créer une zone de détournement du flux. Ainsi, cette forme de l'électrode (2) facilite aussi l'échange thermique avec le flux et protège cette électrode contre un échauffement excessif.

- *Aspect thermique.*

La forme doit aussi garantir un équilibre thermique entre les différentes parties de l'électrode (2) : c'est-à-dire l'électrode qui se chauffe plus rapidement sur la surface au contact avec la décharge doit être assez robuste pour faciliter le flux thermique entre les différentes branches. La puissance électrique dissipée dans l'électrode centrale (2) peut être estimée selon la formule suivante :

$$P_{E4} \approx bn(U_c I + A \rho I^2), \quad (6)$$

I - courant électrique du GlidArc par une électrode, en Ampères ;

U_c - chute cathodique de potentiel du plasma de décharge, en Volts, donnée par le gaz plasmagène et le matériau de l'électrode utilisés ;

ρ - résistance spécifique du matériau de l'électrode en Ωm ;

A - facteur géométrique de l'électrode en m^{-1} ;

n - nombre des électrodes principales (et des phases qui les alimentent) ;

b - facteur représentant la fraction de la période du cycle de vie (allumage – décharge principale instable – extinction – rallumage) du GlidArc durant laquelle le courant électrique passe par l'électrode d'allumage. Sa valeur peut être estimée comme :

$$k \approx \frac{\text{hauteur de l'électrode d'allumage}}{\text{hauteur de l'électrode principale}}. \text{ Dans nos expériences } k \approx 0,1.$$

Le premier terme de la somme de (6) représente la portion de la puissance électrique due au plasma de décharge. Cette puissance est dissipée sur la surface des branches de l'étoile ; il faut donc assurer une bonne évacuation thermique vers le volume de l'électrode. Le deuxième terme représente les pertes dans le matériau de l'électrode dues à l'effet de Joule. Il peut être négligé s'il s'agit de matériaux métalliques avec ρ très faible. En revanche, pour les matériaux réfractaires conductibles, ce terme peut être assez important. Effectivement, la dissipation de l'énergie électrique dans l'électrode d'allumage est équilibrée par les échanges thermiques avec le flux.

• Aspect du champ électrique.

L'intensité minimale du champ électrique dans un gaz, à l'issue duquel une décharge autonome s'amorce, est déterminée par la nature du gaz et par la concentration des molécules du gaz (la loi de Paschen). Pour une distance d entre deux électrodes, la valeur maximale de l'intensité du champ électrique E_{MAX}^R varie selon le rayon minimal de courbure R des électrodes. Si on prend un champ électrique entre des électrodes planes $E_{MAX}^{\infty} = U/d$ pour $R \gg d$ comme référence, on peut déterminer l'influence de R selon la formule :

$$\frac{E_{MAX}^R}{E_{MAX}^{\infty}} \equiv E^R = \frac{d/R}{\ln(1 + d/R)}. \quad (7)$$

Avec $d = 5$ mm et pour $R = 1$ mm : $E^R = 2,8$. Pour $R = 0,1$ mm, E^R augmente à 13. Il est donc très intéressant de concevoir l'électrode d'allumage et de rallumage avec une forme qui présente des pointes avec un rayon de courbure assez faible (dixièmes de mm). Néanmoins, soumises à des décharges électriques de fortes densités de courant ces pointes peuvent s'user au fur et à mesure de leur utilisation. Il est donc préférable d'utiliser des métaux avec une température de fusion élevée ou des matériaux réfractaires – conducteurs électriques.

B. Dispositif et circuit d'allumage et de rallumage autonome alimentant deux électrodes de puissance

Une autre solution ici proposée sur la Figure 10 concerne l'utilisation, comme source d'alimentation, d'un transformateur spécial. Le transformateur comporte deux enroulements primaires (P_1) et (P_2) de basse tension et un enroulement secondaire (S) de haute tension. Le but des deux enroulements primaires est de superposer dans l'enroulement secondaire (S) les effets donnés par chaque enroulement primaire. Le premier enroulement de puissance (P_1) est branché

sur le réseau, par exemple de 220 V. Le réseau est cependant séparé par un filtre (F). Le deuxième enroulement d'allumage est prévu pour être alimenté en impulsions qui sont d'amplitude et de phase réglables. Cet enroulement a une tension nominale de 24 V mais pendant des courtes durées il peut supporter des tensions plus élevées, jusqu'à 200 V. Le filtre (F) du réseau arrête la propagation des impulsions induites de l'enroulement (P_2) dans l'enroulement (P_1), qui autrement risqueraient de se propager dans le réseau. Ce transformateur spécifique (P_1) - (P_2) - (S) prend également en compte le fait que les impulsions dans le (P_2) seraient inefficaces pour engendrer les pics de surtension dans le (S) quand le flux électromagnétique passe par son maximum et que le noyau est saturé. C'est pourquoi le transformateur (P_1)-(P2)-(S), que nous proposons à titre d'exemple, présente une induction magnétique dans le noyau d'environ 1,6 T (par rapport à 1,2 T comme valeur habituelle, donc environ 30 % plus élevée). Il faut réaliser en même temps un découplage de la source des impulsions, parce que l'enroulement (P_2) devient une source de tension induite, qui est court-circuitée par la source d'impulsions au moment de l'application des impulsions. Cette source d'impulsions doit donc fournir un courant fort pour produire des pics de la plus grande valeur possible dans le secondaire S. C'est pourquoi la puissance du transformateur que nous avons utilisé à titre d'exemple est de 6 kVA et la source des impulsions (G.I.) utilisée est un générateur d'impulsions utilisant un circuit intégré.

Ce montage de la Figure 10 permet donc de superposer dans le circuit secondaire (S) de haute tension, sur le signal sinusoïdal engendré par l'enroulement (P_1) les impulsions d'amorçage d'une instable décharge glissante (dg), qui ont une amplitude importante (au minimum la valeur crête du signal sinusoïdal) et une durée très courte, induites par l'enroulement (P_2). Une fois la décharge (dg) amorcée par ces impulsions, l'amplitude du signal sinusoïdal de haute tension est suffisante pour maintenir l'évolution de la décharge. Par la commande de la phase des impulsions, à l'aide du bloc de commande du générateur des impulsions (G.I.), il est possible de choisir le moment d'amorçage de la décharge (dg). D'après nos observations, il est préférable de choisir ce moment le plus proche possible du moment de passage par zéro de la tension alternative sinusoïdale de puissance. La Figure 11 présente l'ensemble des phénomènes électriques observés dans la décharge (dg). Dans la partie supérieure de cette figure est indiquée la forme de la tension obtenue dans le secondaire (S) du transformateur à vide et dans la partie inférieure les impulsions données par le générateur d'impulsions (G.I.). La durée très courte d'une impulsion (inférieure à 1 ms, par exemple 0,5 ms), liée à l'énergie engagée pour produire cette impulsion, donne une puissance instantanée d'une valeur assez importante de l'ordre de 1 à 2 kW. Comme mesures supplémentaires de protection nous prévoyons, à titre d'exemple, un transformateur avec une isolation à 50 V pour l'enroulement P_2 (pour seulement 24 V qui l'alimente), une isolation à 500 V pour l'enroulement (P_1) qui est branché à seulement 220 V et une isolation à 6 kV pour le secondaire (S), tension qui est atteinte pour de très courtes périodes. Le courant électrique dans le circuit secondaire est limité à 1 A par une self (Z) en série indiquée sur la Figure 10. Les composants semi-conducteurs utilisés dans le primaire (P_2) ont été surdimensionnés. Les impulsions de commande peuvent être également appliquées pour commander un thyristor ou un transistor de puissance.

La solution ici présentée s'applique à toutes les structures GlidArc-I et GlidArc-II. On peut l'utiliser dans les configurations à électrodes multiples alimentées à partir d'une phase ou bien à partir d'un système polyphasé, par exemple triphasé. Dans ce cas une multitude de transformateurs, comme celui ici décrit, peut être connectée chacun à une phase différente. Pour un dispositif GlidArc-II on peut, par exemple, connecter un pôle de chacun de ces transformateurs à l'électrode centrale, celle qui tourne, et disposer les autres pôles pour alimenter les électrodes stationnaires se trouvant autour de l'électrode centrale ...

C. Circuit d'auto-allumage en cascade contrôlée, alimentant simultanément plusieurs électrodes de puissance connectées à une seule source

La Figure 12 présente un autre exemple de réalisation d'alimentation simultanée de quatre décharges glissantes du type GlidArc-I connectées à une seule source de haute tension (un transformateur monophasé ou un autre générateur de courant continu, partiellement redressé, pulsé, etc.). Selon ce circuit les décharges électriques de haute tension sont toutes établies en série. Le courant délivré par le pôle ($P1$) d'une source de haute tension connectée à l'électrode ($P1$) ne peut s'écouler dans l'autre pôle ($P2$) de cette source qu'en passant par toutes les décharges en série ($P1 - (a12)$, $(a12) - (b12)$, $(b12) - (c12)$ et enfin $(c12) - (P2)$).

Etant donné le caractère des décharges GlidArc, il faut tout d'abord organiser un premier allumage de ces décharges par une propagation de l'amorçage et ensuite entretenir les rallumages successifs de chaque décharge après leur disparition. Ce rôle est confié aux résistances ($R1$), ($R2$) et ($R3$) de valeurs élevée (ordre du $M\Omega$) qui relient respectivement les électrodes ($P1$) avec ($a12$), ($b12$) et ($c12$). Ces résistances assurent ainsi une liaison galvanique du circuit qui autrement serait rompu, ce qui empêcherait l'établissement d'une première décharge d'allumage reliant toutes les électrodes placées entre ($P1$) et ($P2$). Ce premier allumage s'effectue de la façon suivante (toujours à titre d'exemple) :

L'électrode ($P1$) se trouve toujours sous un haut potentiel délivré par le pôle ($P1$) de la source. L'électrode ($c12$) est reliée au pôle ($P1$) par la résistance ($R3$) et donc ($c12$) est également sous le potentiel ($P1$) car le courant ne passe pas encore. La différence de potentiels ($P1 - (P2)$) est suffisante pour qu'une décharge pilote de faible courant (ordre des dizaines mA) limité par la résistance ($R3$) en série puisse s'établir entre les électrodes ($P2$) et ($c12$) écartées d'une distance (d). D'ailleurs, tous les écartements entre les électrodes sont sensiblement égaux à (d).

A ce moment l'électrode ($c12$) se trouve sous un potentiel proche de celui de ($P2$) car ($c12$) devient connectée à ($P2$) par la décharge pilote et alors la résistance ($R3$) ne détermine plus son potentiel ($P1$) comme auparavant. A cet instant c'est l'électrode ($b12$), reliée avec au pôle ($P1$) par la résistance ($R2$), qui se trouve au potentiel ($P1$) car le courant ne passe pas encore par la résistance ($R2$). La différence de potentiels entre ($b12$) et ($c12$) devient suffisante pour qu'une décharge pilote de faible courant (toujours de l'ordre des dizaines mA), limité par la résistance de la décharge entre ($P2$) et ($c12$) ainsi que par la résistance ($R2$) en série, puisse s'établir entre les électrodes ($c12$) et ($b12$). A ce moment la résistance ($R3$) cesse pratiquement de conduire le courant car la résistance de la décharge entre les électrodes ($c12$) et ($b12$) est beaucoup plus petite que celle de ($R3$).

A ce moment l'électrode (b12) se trouve sous un potentiel déterminé par le potentiel (P2) diminué par les chutes (assez négligeables) de tension dans les décharges pilotes (P2) - (c12) et (c12) - (b12). La résistance (R2) ne détermine donc plus son potentiel. A cet instant l'électrode (a12) est reliée avec le pôle (P1) par la résistance (R1) et elle est sous le potentiel (P1) car le courant ne passe pas encore par la résistance (R1). La différence de potentiels entre (a12) et (b12) devient suffisante pour qu'une décharge pilote de faible courant, limité par les résistances de décharges entre (P2) et (c12) et entre (c12) et (b12) ainsi que par la résistance (R1) en série, puisse s'établir entre les électrodes (a12) et (b12). A ce moment la résistance (R2) cesse pratiquement, elle aussi, de conduire le courant car la résistance de la décharge entre les électrodes (a12) et (b12) est beaucoup plus petite que celle de (R2).

Finalement, l'électrode (a12) se trouve sous un potentiel déterminé par le potentiel (P2) et les chutes (assez négligeables) de tension dans les décharges pilotes (P2) - (c12), (c12) - (b12) et (b12) - (a12). La résistance (R1) ne détermine plus son potentiel. La différence de potentiels entre (a12) et (P1) devient suffisante pour qu'une décharge puisse s'établir entre ces électrodes. Mais à ce moment la résistance (R1) cesse pratiquement de conduire le courant, elle aussi, car la résistance de la décharge entre les électrodes (P1) et (a12) est beaucoup plus petite que celle de (R1). Toutes les résistances (R1), (R2) et (R3) sont maintenant pratiquement hors du circuit de contrôle du courant des décharges et alors c'est la somme des seules résistances propres aux décharges en série (P2) - (c12), (c12) - (b12), (b12) - (a12) et (a12) - (P1) qui détermine le courant de toutes ces décharges. Sous une différence de potentiels (P2) - (P1), toutes les décharges commencent alors à conduire un courant plus élevé, le même dans chaque décharge en série avec les autres.

Pendant le fonctionnement du système ici décrit comme un exemple, nous observons donc quatre décharges glissantes de puissance installées entre cinq électrodes regroupées en ligne (comme le suggère la Figure 12) ou en une quelconque structure géométrique qui permette de mettre les décharges en série électrique. Ces décharges sont alimentées par seulement deux câbles sortant d'une source de haute tension. Vu la somme des distances (d) entre toutes les électrodes cette haute tension "à vide" ne serait pas suffisante pour allumer une décharge unique entre deux électrodes aussi écartées que 4.(d). Cette haute tension est cependant suffisante pour allumer, en cascade, une décharge après l'autre et y installer ensuite les quatre décharges de puissance. Ces décharges évoluent en fonction de la poussée hydraulique du flux (F), de la fluctuation de la tension entre (P2) et (P1) (par exemple dans une source pulsée ou alternative) et de tout autre phénomène agissant sur le comportement individuel de chaque décharge. Cependant les décharges ne sont plus indépendantes et chacune d'elles influence les autres par l'intermédiaire de leurs connexions en série, par un éventuel voisinage (en rayonnant l'une sur l'autre), etc. Finalement, nous observons un ensemble de quatre décharges très instables, très fluctuantes ... mais qui mutuellement s'entretiennent parfaitement en donnant quatre "flames électriques" continues, impossibles à "éteindre". De qu'une quelconque paire d'électrodes n'est plus connectée par une décharge (par exemple à la fin du parcours "naturel" de la décharge sur ces électrodes) - une nouvelle décharge est initiée à l'endroit où ces électrodes sont les plus rapprochées (le principe de GlidArc) par une décharge pilote à travers une résistance (R1), (R2) ou

(R3). La loi de continuité du courant électrique fait disparaître également les autres décharges en ligne – mais à cet instant précis les espaces entre les électrodes sont encore suffisamment ionisés pour immédiatement rallumer les décharges, l'une après l'autre.

Les résistances (R1), (R2) et (R3) ne consomment pas d'énergie car elles ne conduisent qu'un faible courant lors de rares moments d'allumage. A titre d'exemple nous utilisons des résistances de l'ordre de quelques MΩ et 1 W qui restent tièdes même après de longues heures de fonctionnement.

Un apport inventif reste à souligner : nous nous sommes aperçus que pour un bon allumage de quatre décharges ici décrites (toujours à titre d'exemple), il est préférable que les résistances (R1), (R2) et (R3) présentent des valeurs en ordre décroissant $(R1) < (R2) < (R3)$. Par exemple, pour une tension (P2) – (P1) de l'ordre de 15 kV crête à crête (50 Hz) et pour des distances initiales de l'ordre 2 mm (celles les plus faibles) entre les électrodes divergentes en acier, les bonnes valeurs de résistances sont (R1) ~ 1 MΩ, (R2) ~ 2 MΩ et (R3) ~ 4 MΩ. Ceci respecte un certain équilibrage de toutes les résistances en série lors des allumages de décharges en cascade. En effet, le courant passant par les décharges qui s'allument les unes après les autres augmente progressivement ce qui contribue à l'allumage garanti de toute la ligne de décharges.

L'autre fait marquant de l'invention est la mise en série de deux, trois ou même quatre décharges. Nous avons déjà évoqué des solutions pour limiter le courant d'une décharge glissante en utilisant une résistance mise en série (voir les Figures 1 ou 4) mais nous les avons critiquées à cause d'une dissipation d'énergie purement thermique de Joule hors du dispositif GlidArc. En mettant une décharge GlidArc comme résistance pour une autre décharge GlidArc – et vice versa – nous dissipons toute énergie au sein du dispositif même. En plus, cette énergie est très active car dissipée dans une décharge électrique glissante (avec toutes ses propriétés décrites précédemment) dans le flux de matière à traiter. Ces décharges glissantes extrêmement instables peuvent être mises en série et elles s'entretiennent de façon autorégulatrice. De façon étonnante ces décharges peuvent fonctionner pendant un temps déterminé par la seule présence de la tension (P1) – (P2).

Le rendement énergétique de la source d'alimentation devient ainsi beaucoup plus élevé. Sa tension "à vide" doit seulement être suffisante pour allumer une seule décharge du système de décharges en série. Ensuite, le courant délivré par la source doit être suffisant pour entretenir les décharges principales en série. Ce courant est déjà partiellement auto-limité par les résistances de ces décharges et il suffit alors d'accorder une faible self-inductance à la source (ou une inductance extérieure en série) pour régler le courant moyen de toutes les décharges à un niveau compatible à l'application souhaitée du GlidArc. A titre d'exemple le facteur de puissance pour une structure à quatre électrodes (donc trois décharges) alimentées avec un transformateur 50 Hz à fuite (10 kV de tension à vide, 1 kVA) est égal à 0,36 alors qu'il était d'environ 0,14 pour un système à deux électrodes.

Le circuit présenté sur la Figure 12 n'est donné qu'à titre d'exemple, dans lequel les quatre décharges sont traversées par quatre flux (F). Il est bien évidemment possible de mettre le flux de façon à ce qu'il traverse les décharges l'une après l'autre.

D. Circuit d'auto-allumage alimentant simultanément neuf électrodes de puissance connectées à un seul transformateur triphasé

La Figure 13 présente un autre mode de réalisation d'une alimentation simultanée de neuf électrodes de puissance connectées à un seul transformateur triphasé (P1) – (P2) – (P3). Selon ce circuit inventif, les décharges électriques de haute tension triphasée sont établies en série - parallèle de la façon suivante :

- Le courant délivré par la phase (P1) sortant d'un transformateur élévateur de tension et connectée directement à l'électrode (P1) située dans une triade (T1) (structure indépendante de trois électrodes de puissance) peut s'écouler dans la phase (P2) en passant tout d'abord par une décharge entre cette électrode (P1) et l'électrode (p2) située dans la même triade et en passant ensuite par une autre décharge entre l'électrode (p12), connectée par un câble avec l'électrode (p21) mais située dans une autre triade (T2), et l'électrode (P2).
- Le courant délivré par la même phase (P1) connectée à l'électrode (P1) de la même triade (T1) peut encore s'écouler dans la phase (P3) du transformateur en passant tout d'abord par une autre décharge entre cette électrode (P1) et l'électrode (p31), située dans la même triade, et en passant ensuite par une autre décharge entre l'électrode (p13), sur le même potentiel que l'électrode (p31) mais située dans une triade (T3), et l'électrode (P3).
- De façon similaire le courant délivré par la phase (P2) sortant du transformateur et connectée directement à l'électrode (P2) située dans la triade (T2) peut s'écouler dans la phase (P3) en passant tout d'abord par une décharge entre l'électrode (P2) et l'électrode (p32), située dans la même triade, et en passant ensuite par une autre décharge entre l'électrode (p23), connectée par un autre câble avec l'électrode (p32) mais située dans la triade (T3), et l'électrode (P3).
- Le courant délivré par la même phase (P2) connectée à l'électrode (P2) de la même triade (T2) peut encore s'écouler dans la phase (P1) du transformateur en passant tout d'abord par une autre décharge entre cette électrode (P2) et l'électrode (p12), située dans la même triade, et en passant ensuite par une autre décharge entre l'électrode (p21), sur le même potentiel que l'électrode (p12) mais située dans la triade (T1), et l'électrode (P1).
- Enfin, de façon similaire, le courant délivré par la phase (P3) sortant du transformateur et connectée directement à l'électrode (P3) située dans la triade (T3) peut s'écouler dans la phase (P1) en passant tout d'abord par une décharge entre l'électrode (P3) et l'électrode (p13), située dans la même triade, et en passant ensuite par une autre décharge entre l'électrode (p31), connectée par un autre câble avec l'électrode (p13) mais située dans la triade (T1), et l'électrode (P1).
- Le courant délivré par la même phase (P3) connectée à l'électrode (P3) de la même triade (T3) peut encore s'écouler dans la phase (P2) du transformateur en passant tout d'abord par une autre décharge entre cette électrode (P3) et l'électrode (p23), située dans la même triade, et en passant ensuite par une autre décharge entre l'électrode (p32), sur le même potentiel que l'électrode (p23) mais située dans la triade (T2), et l'électrode (P2).

Etant donné le caractère des décharges GlidArc, il a faut également organiser leur premier allumage et ensuite leur rallumages successifs après leur extinction. Ce rôle est confié aux

résistances ($R1$), ($R2$) et ($R3$) de valeurs élevées (de l'ordre du $M\Omega$) qui relient respectivement les électrodes ($P1$) avec ($p31$), ($P2$) avec ($p12$) et ($P3$) avec ($p23$). Ces résistances assurent ainsi une liaison galvanique du circuit qui autrement serait rompu, ce qui en conséquence empêcherait l'établissement d'une première décharge d'allumage dans chacune des triades. Prenons un

5 exemple :

L'électrode ($P1$) dans la triade ($T1$) se trouve sous un potentiel élevé délivré par la phase ($P1$) du transformateur. L'électrode ($p21$) se trouvant dans la même triade ($T1$) est reliée à la phase ($P2$) par la résistance ($R2$) et alors ($p21$) est sous un potentiel ($P2$) car le courant ne passe pas encore. La différence de potentiels ($P1$) - ($P2$) est suffisante pour qu'une décharge pilote de
10 faible courant (ordre du dizaine de mA) limité par la résistance ($R2$) puisse s'établir entre les électrodes ($P1$) et ($p21$) dans la triade ($T1$).

De même, l'électrode ($P2$) dans la triade ($T2$) se trouve sous un potentiel ($P2$). L'électrode ($p32$) se trouvant dans la même triade ($T2$) est reliée à la phase ($P3$) par la résistance ($R3$) et alors ($p32$) est sous un potentiel ($P3$). La différence de potentiels ($P2$) - ($P3$) est suffisante pour qu'une
15 autre décharge pilote de faible courant limité par la résistance ($R3$) puisse s'établir entre les électrodes ($P2$) et ($p32$) dans la triade ($T2$).

De même, l'électrode ($P3$) dans la triade ($T3$) se trouve sous un potentiel ($P3$). L'électrode ($p13$) se trouvant dans la même triade ($T3$) est reliée à la phase ($P1$) par la résistance ($R1$) et alors ($p13$) est sous un potentiel ($P1$). La différence de potentiels ($P3$) - ($P1$) est suffisante pour qu'une
20 autre décharge pilote de faible courant limité par la résistance ($R1$) puisse s'établir entre les électrodes ($P3$) et ($p13$) dans la triade ($T3$).

En conséquence nous avons trois décharges initiales (pilotes) dans les trois triades : ($P1$) - ($p21$), ($P2$) - ($p32$) et ($P3$) - ($p13$). Ces décharges se trouvent à l'endroit où les électrodes sont les plus rapprochées. Les décharges, soufflées par le flux (F) les traversant, ionisent cet endroit ce
25 qui provoque instantanément l'établissement des décharges principales.

Maintenant, l'électrode ($p21$) dans la triade ($T1$) se trouve sous un potentiel proche à celui de ($P1$) car ($p21$) devient connectée à ($P1$) par la décharge pilote. A cet instant, l'électrode ($p12$) se trouvant dans ($T2$) et étant liée par câble conducteur à ($p21$) reçoit le même potentiel qui est bien différent de celui ($P2$). Alors, dans l'environnement ($T2$) déjà ionisé par la décharge pilote voisine
30 ($P2$) - ($p32$) qui vient d'être établie, nous observons une nouvelle décharge entre ($p12$) et ($P2$). Le courant de cette décharge n'est limité que par la somme des résistances propres des décharges, devenues principales, ($P1$) - ($p21$) et ($p12$) - ($P2$) en série. Ces nouvelles décharges de puissance augmentent significativement l'ionisation des milieux dans les triades ($T1$) et ($T2$). De même, l'électrode ($p32$) dans la triade ($T2$) se trouve sous un potentiel proche à celui de ($P2$) car ($p32$)
35 devient connectée à ($P2$) par la décharge pilote. A cet instant, l'électrode ($p23$) liée à ($p32$) reçoit le même potentiel qui est bien différent de celui ($P3$). Alors, dans l'environnement ($T3$) déjà ionisé par la décharge pilote voisine ($P3$) - ($p13$), nous observons une nouvelle décharge entre ($p23$) et ($P3$). Le courant de cette décharge n'est limité que par la somme des résistances propres des décharges, devenues principales, ($P2$) - ($p32$) et ($p23$) - ($P3$) en série. Ces nouvelles décharges
40 de puissance augmentent significativement l'ionisation des milieux dans les triades ($T2$) et ($T3$). De même, l'électrode ($p13$) dans la triade ($T3$) se trouve sous un potentiel proche à celui de ($P3$) car

(p13) devient connectée à (P3) par la décharge pilote. A cet instant l'électrode (p31) liée à (p13) reçoit le même potentiel qui est bien différent de celui (P1). Alors, dans l'environnement (T1) déjà ionisé par la décharge pilote voisine (P1) - (p21), nous observons une nouvelle décharge entre (p31) et (P1). Le courant de cette décharge n'est limité que par la somme des résistances propres des décharges, devenues principales, (P3) - (p13) et (p31) - (P1) en série. Ces nouvelles décharges de puissance augmentent significativement l'ionisation des milieux dans les triades (T3) et (T1).

Trois nouvelles décharges s'allument alors, chacune respectivement dans les triades (T1), (T2) et (T3). Prenons tout d'abord la triade (T1) : L'espace entre les trois électrodes (P1), (p21) et (p31) vient d'être fortement ionisé par les décharges entre (P1) - (p21) et entre (P1) - (p31). Le potentiel de l'électrode (p21) est en relation avec le potentiel de l'électrode (P1) par l'intermédiaire de la loi d'Ohm prenant en compte la résistance et le courant de cette décharge (P1) - (p21), en même temps ce potentiel en (p21) est en relation avec le potentiel de l'électrode (P2) par l'intermédiaire de la loi d'Ohm prenant en compte la résistance et le courant de cette décharge (P2) - (p12). Les deux électrodes (p21) et (p12) sont reliées par un conducteur (câble) et sont donc au même potentiel résultant. L'électrode voisine (p31) dans la même triade (T1) a son potentiel qui résulte de la résistance et du courant de la décharge (P1) - (p31), et en même temps de ceux d'une autre décharge (P3) - (p13) dans la triade (T3). Les deux électrodes (p31) et (p13) sont reliées par un câble et sont donc au même potentiel résultant, qui n'est pas forcément le même que le potentiel de (p21) et (p12). Alors, à cause de la différence de potentiels entre les électrodes (p21) et (p31) dans la même triade (T1), nous observons une nouvelle décharge entre les électrodes (p21) et (p31). Le courant de cette décharge est limité par sa résistance propre mais aussi par les résistances des décharges (P1) - (p21) et (P3) - (p13) qui sont toutes en série avec la décharge en question (p21) - (p31). Le courant de cette décharge supplémentaire est donc un peu plus faible car limité par trois décharges en série (au lieu de deux décharges en série), mais cette nouvelle décharge apporte son énergie supplémentaire au flux traité (F). Sans entrer dans les détails explicatifs, nous observons de façon similaire encore deux décharges supplémentaires, (p12) - (p32) dans la triade (T2) et (p13) - (p23) dans la triade (T3).

Pendant le fonctionnement du système décrit ici nous observons donc neuf décharges glissantes de puissance installées entre neuf électrodes regroupées par trois dans trois triades. Ces décharges sont alimentées par seulement trois câbles sortant d'un transformateur triphasé de haute tension. Cette haute tension "à vide" est suffisante pour allumer, dans les trois triades (T1), (T2) et (T3), les trois décharges pilotes limitées en courant par les résistances extérieures (R1), (R2) et (R3). Ces faibles décharges suffisent pour ioniser l'espace dans les triades ce qui permet d'y installer les neuf décharges de puissance. Ces dernières évoluent en fonction de la poussée hydraulique du flux (F), de la rotation des phases, de l'oscillation de la tension imposée par la fréquence d'alimentation (par exemple 50 Hz) et de tout autre phénomène agissant sur le comportement individuel de chaque décharge. Cependant les décharges ne sont plus indépendantes et chacune d'elles influence les autres par l'intermédiaire de leurs connexions en série, par le voisinage (en rayonnant l'une sur l'autre, en parsemant les ions et électrons autour d'elles, etc.). En conclusion nous observons un ensemble de neuf décharges très instables, très

fluctuantes ... mais qui s'entretiennent mutuellement en donnant trois "flammes électriques" continues, impossibles à "éteindre" dans les trois triades. Dès qu'une quelconque paire d'électrodes n'est plus connectée par une décharge (par exemple à la suite de la fin du parcours "naturel" de cette décharge sur ces électrodes) – une nouvelle décharge est initiée à l'endroit où ces électrodes sont les plus rapprochées (principe du GlidArc), ceci à la suite d'une décharge pilote à travers une résistance ($R1$) ou ($R2$) ou ($R3$). Une nouvelle décharge peut se mettre en route également à la suite d'une ionisation résiduelle de l'espace entre les électrodes, l'ionisation qui vient d'être laissée sur place après la disparition de la décharge précédente ...

Les résistances ($R1$), ($R2$) et ($R3$) ne consomment pas d'énergie car elles ne conduisent qu'un faible courant lors de rares moments d'allumage. A titre d'exemple nous utilisons des résistances d'environ $2\text{ M}\Omega$ et 1 W qui restent tièdes même après de longues heures de fonctionnement.

Le fait le plus marquant de notre invention est la mise en série de deux ou même trois décharges dans un système triphasé. Nous avons déjà évoqué des solutions pour limiter le courant d'une décharge glissante en utilisant une résistance mise en série (voir les Figures 1 ou 4) mais nous les avons critiquées à cause d'une dissipation d'énergie purement thermique de Joule hors du dispositif GlidArc. En mettant une décharge GlidArc comme résistance pour une autre décharge GlidArc (et vice versa), nous dissipons beaucoup plus d'énergie au sein du dispositif. En plus, cette énergie est très active car dissipée dans une décharge électrique glissante (avec toutes ses propriétés déjà décrites précédemment) dans le flux de matière à traiter. Notre invention démontre en plus que ces deux (ou trois) décharges glissantes (par triade) extrêmement instables peuvent être mises en série et qu'elles s'entretiennent de façon autorégulatrice. De façon étonnante les neuf décharges dans un système triphasé peuvent fonctionner pendant un temps déterminé par la seule présence de la tension triphasée à la sortie du transformateur.

Le rendement énergétique du transformateur devient ainsi beaucoup plus élevé. La tension "à vide" du transformateur doit seulement être suffisante pour allumer une seule décharge dans chaque triade. Ensuite, le courant délivré par chaque phase du transformateur (du côté de la haute tension) doit être suffisant pour entretenir quatre décharges principales en série – parallèle. Par exemple, le courant délivré par la phase ($P1$) alimente les décharges ($P1$) – ($p21$) et ($p12$) – ($P2$) en série et en même temps il alimente également deux autres décharges ($P1$) – ($p31$) et ($p13$) – ($P3$) en série. Ce courant est déjà auto-limité par les résistances de ces décharges et il suffit alors d'accorder une faible auto-inductance au transformateur (ou d'autres inductances mises en série sur chaque ligne du courant sortant du transformateur) pour régler les courants moyens de chaque décharge à un niveau compatible à une application spécifique du GlidArc. Nos essais ont démontré que l'impédance du transformateur (ou de la ligne alimentant les décharges) a pu ainsi être réduite par un facteur de 2 et que nous n'avions pas besoin d'ajouter de résistances extérieures dans le circuit autres que les résistances d'allumage ($R1$), ($R2$) et ($R3$).

Le montage présenté sur la Figure 13 n'est donné qu'à titre d'exemple, dans lequel les trois triades sont mises en série par rapport au flux F qui les traverse l'une après l'autre. Il est bien évidemment possible de mettre les triades de façon parallèle aux trois flux (F), chacun des flux traversant une triade seulement.

E. Circuit d'auto-allumage étagé alimentant simultanément plusieurs électrodes de GlidArc-I connectées à une source

Cet arrangement des d'électrodes est présenté sur la Figure 14 en deux versions a) et b) comme exemples. Il sert à répartir l'action des décharges électriques le long d'un même dispositif parcouru par un flux (F).

Il a déjà été démontré que la turbulence élevée du flux est très favorable à la qualité de son traitement. La turbulence engendrée par un mouvement rapide du flux provoque également une dispersion des ions et électrons dans la direction du flux et permet ainsi d'amorcer une décharge entre des électrodes éloignées dans un milieuensemencé par ces particules. En répartissant donc les électrodes entre les différents étages le long du flux, il est devenu possible d'obtenir une bonne répartition des décharges électriques dans le flux à traiter.

La Figure 14a présente un mini GlidArc-I à deux électrodes (p1) et (p2) - mais ce nombre est donné seulement à titre indicatif car on peut envisager ici, par exemple, trois électrodes connectées à une source triphasée - se trouvant à la base d'un dispositif principal de puissance, également à deux électrodes (P1) et (P2) comme exemple. La même source de tension peut alimenter les deux GlidArcs. Initialement, la tension (P1) - (P2) est cependant insuffisante pour allumer la décharge principale car les électrodes principales sont trop éloignées. Par contre, cette tension est suffisante pour allumer la décharge pilote entre les électrodes auxiliaires (p1) et (p2) beaucoup plus rapprochées. Le courant de cette décharge pilote est limité par les résistances (R1) + (R2) en série de façon à seulement assurer une ionisation suffisante du flux (F) passant à proximité des électrodes (p1) et (p2). Il devient alors possible d'engendrer une décharge principale dans le flux (F) partiellement ionisé entrant dans l'espace entre les électrodes (P1) et (P2) sous tension à vide de la source. Le courant de cette décharge n'est limité que par sa résistance propre et comme la distance entre les électrodes (P1) et (P2) est assez grande, la résistance de la décharge peut être même suffisante pour auto limiter ce courant à une valeur optimale, compatible avec le traitement du flux.

Bien évidemment nous pouvons envisager une source continue, pulsée ou alternative, mono- ou polyphasée, alimentant plus que deux électrodes de démarrage et/ou plus que deux électrodes de puissance... Pour certaines configurations géométriques, quand les électrodes (p1) et/ou (p2) sont trop proches des électrodes (P1) et/ou (P2), ceci dans la direction du flux, nous les mettons toutes en quinconce. Ainsi nous évitons qu'une (ou plusieurs) décharge(s) s'installe(nt) de façon durable entre les deux étages, ce qui les mettrait en court-circuit provoquant l'augmentation intempestive du courant dans l'étage de démarrage.

La Figure 14b présente une autre version de réalisation du principe déjà montré dans une première version sur la Figure 14a. C'est une succession de dispositifs GlidArc-I à deux électrodes sous forme d'électrodes segmentées (mais ce nombre "deux" est donné seulement à titre indicatif car on peut envisager ici, par exemple, trois électrodes connectées à une source triphasée). Comme auparavant, le premier étage - par rapport à la direction du flux (F) - est réalisé entre les électrodes d'allumage (p01) et (p02). La même source de tension peut alimenter trois GlidArcs. Initialement, la tension (P1) - (P2) est cependant insuffisante pour allumer la décharge principale (P1) - (P2) et même la décharge intermédiaire (p1) - (p2) car les électrodes principales et

intermédiaires sont trop éloignées. Par contre, cette tension est suffisante pour allumer la décharge pilote entre les premières électrodes auxiliaires ($p01$) et ($p02$) bien rapprochées. Le courant de cette décharge pilote est limité par les résistances ($R1$) + ($R01$) + ($R2$) + ($R02$) en série de façon à seulement assurer une ionisation suffisante du flux (F) passant à proximité des électrodes ($p01$) et ($p02$). Il devient alors possible d'engendrer une décharge intermédiaire dans le flux (F) partiellement ionisé entrant dans l'espace entre les électrodes ($p1$) et ($p2$) sous tension à vide de la source. Cette décharge est limitée en courant par sa résistance propre et par les résistances ($R1$) + ($R2$) en série. A son tour la décharge ($p1$) – ($p2$) ionise l'espace entre les électrodes principales malgré leur grand écartement. Comme la distance entre ces électrodes ($P1$) et ($P2$) est grande, la résistance de la décharge peut être même suffisante pour auto limiter ce courant à une valeur optimale, compatible avec le traitement du flux.

Comme précédemment, nous pouvons envisager une source continue, pulsée ou alternative; mono- ou polyphasée, alimentant plus que deux électrodes de démarrage et/ou plus que deux électrodes intermédiaires et/ou plus que deux électrodes de puissance... Pour certaines configurations géométriques, quand les électrodes de démarrage et/ou auxiliaires et/ou principales sont trop proches les unes des autres (ceci dans la direction du flux), nous les mettons toutes (ou certaines) en quinconce. Ainsi nous évitons qu'une (ou plusieurs) décharge(s) s'installe(nt) de façon durable entre les étages, ce qui les mettrait en court-circuit provoquant l'augmentation intempestive du courant dans les étages de démarrage.

Finalement, au lieu de segmenter les électrodes (cas de la Figure 14b), nous les avons taillées de façon continue dans une matière assez peu conductrice d'électricité comme un composite métal – céramique. Le point de connexion électrique de chaque électrode (par exemple sous forme d'un couteau ou d'un bâton) a été placé là où l'électrode est la plus éloignée par rapport à l'autre électrode. Dans une telle configuration, la résistance de l'électrode est minimale près du point de connexion et maximale vers le point où l'électrode est la plus rapprochée de l'autre électrode. Une telle électrode résistive présente alors le cas de la Figure 14b avec une segmentation extrêmement fine. Bien évidemment, certaines électrodes avoisinant l'électrode résistive peuvent être très conductrices (par exemple métalliques). Comme d'habitude l'allumage a lieu dans l'espace le plus restreint entre les électrodes. Le courant d'une telle décharge pilote est bien limité (au maximum) par les résistances présentées par les électrodes mêmes. Comme précédemment, suite au glissement de la décharge poussée par le flux, la décharge prend une position de plus en plus avantageuse par rapport à la résistance extérieure en série avec la résistance propre de la décharge. Alors le courant de la décharge augmente, la longueur aussi et la part de puissance électrique dissipée dans le filament de la décharge augmente également. Par contre, la chaleur dissipée par effet de Joule dans une telle électrode diminue progressivement. A la fin du parcours de la décharge, nous observons les conditions optimales propres au GlidArc ... mais à ce moment là la décharge disparaît ... pour renaître dans un point proche de celui où elle a commencé son parcours. D'ailleurs, nous veillons à ce que la décharge disparaisse, car autrement, attachée au bout des électrodes, elle cesserait de glisser et ainsi accrochée, elle surchaufferait nos électrodes jusqu'à leur destruction précoce.

Nous déplorons cependant qu'une partie de l'énergie électrique soit dissipée sous forme de chaleur par effet de Joule ... mais nous nous consolons du fait que cette énergie reste dans le flux. Cependant, on a pu déjà démontrer que la contribution de la partie thermique d'une décharge glissante pouvait dans certains cas être favorable et dans d'autres défavorable. Rappelons à cette occasion que le GlidArc est toujours un compromis entre la simplicité extrême d'un générateur de plasma et l'efficacité son rendement énergétique.

F. Circuit et électrode résistive d'auto-allumage de plusieurs décharges mobiles

Le dernier cas (E) montrant l'utilité d'une (ou plusieurs) électrode(s) résistive(s) peut être particulièrement bien adapté pour alimenter également un dispositif GlidArc-II. La Figure 15a présente un exemple d'un tel montage inventif comportant trois électrodes stationnaires ($P1$), ($P2$) et ($P3$) connectées aux trois pôles ($P1$), ($P2$) et ($P3$) d'un transformateur triphasé. Les sorties haute tension du transformateur alimentant les trois électrodes, viennent d'un montage "en étoile" des enroulements avec le point neutre habituellement mis à la terre (T). Si pour une raison quelconque la mise directe à la terre (la masse) n'est pas permise, alors ce point neutre peut être indirectement connecté à la terre à travers une quelconque résistance (impédance). L'électrode centrale ($P0$), qui est mobile, est habituellement mise à la masse pour des raisons de sécurité et de technologie ; sa rotation est dans la plupart des cas animée par un arbre métallique sur lequel sont parfois déposées d'autres électrodes mobiles, également mises à la masse. Ces électrodes présentent un disque métallique ou une brosse métallique, voir BF 98.02940 (2775864), ceci pour former un réacteur à étages multiples. Nous respectons ce choix de "mise à la masse" (la terre) de l'arbre de rotation et de son entraînement mécanique.

La partie inventive consiste à utiliser un disque formé, au moins partiellement, d'une matière résistive présentant quelques $M\Omega$ (typiquement $2 M\Omega$) entre l'axe du disque, toujours mis à la terre (T), et un point situé sur sa circonférence. Un tel disque (par exemple formé d'un composite métal - céramique) doit également présenter une certaine résistance de l'ordre du $k\Omega$ seulement (typiquement $2 k\Omega$) entre deux points situés sur la circonférence et éloignés de 120° pour le cas présenté sur la Figure 15a (trois électrodes espacées de 120°). Le mode de fonctionnement est le suivant :

En absence de décharge le disque mobile ($P0$) est entièrement sur le potentiel de terre (T). Si la distance de claquage diélectrique est suffisamment petite par rapport à la différence de potentiel entre une quelconque électrode ($P1$) ou ($P2$) ou ($P3$) et le disque ($P0$), alors une première décharge s'établit là où la différence de potentiel entre une phase - par exemple ($P1$) - et le neutre ou la terre (T) est la plus forte. Cette décharge pilote est parcourue par un courant fortement limité par la résistance entre son pied d'attachement à la circonférence du disque et l'axe du disque (quelques $M\Omega$). A cet instant nous observons que le potentiel du disque dans sa partie proche de la circonférence (donc éloignée de l'axe) devient proche de celui de la phase donnant lieu à la décharge pilote, ($P1$) dans notre exemple. Les différences entre ce potentiel et les potentiels de phases qui ne sont pas encore connectées au disque, ($P2$) et ($P3$) dans notre exemple, sont donc proches de tensions à vide entre les phases de haute tension du transformateur (qui sont plus

élevées que les tensions entre les phases et leur point neutre). Deux autres décharges, $(P2) - (P0)$ et $(P3) - (P0)$ dans notre exemple, s'installent donc et immédiatement elles deviennent puissantes car maintenant, sous tensions entre les phases $(P1) - (P2)$, $(P2) - (P3)$ et $(P3) - (P1)$, les seules résistances limitant le courant sont : celle de la bande résistive proche à la circonférence du disque (de l'ordre du $k\Omega$), la résistance de la décharge elle-même et l'impédance du transformateur. Une fois ces trois décharges installées, nous créons un espace autour du disque tellement ionisé que ces trois décharges ne disparaissent plus (observation visuelle) ou plutôt qu'elles se rallument sans aucun problème.

Un autre mode de fonctionnement, qui facilite la formation d'une première décharge pilote, est présenté sur la Figure 15b. Nous ajoutons seulement une petite "bosse" conductrice (B) sur le disque $(P0)$ pour forcer le premier allumage d'une décharge pilote. Évidemment, on peut ajouter d'autres bosses de façon régulière sur la circonférence du disque. Pour des raisons mécaniques nous veillons à ce que la hauteur $(d-)$ de cette bosse soit inférieure à la distance (d) entre les électrodes immobiles $(P1)$, $(P2)$ et $(P3)$ et l'électrode $(P0)$; cela veut dire que $(d) - (d-) > 0$. Les autres points caractéristiques de l'invention restent les mêmes : trois électrodes stationnaires $(P1)$, $(P2)$ et $(P3)$ connectées aux trois pôles $(P1)$, $(P2)$ et $(P3)$ du transformateur triphasé montés "en étoile" avec le point neutre mis à la terre (T) , etc.

Exactement comme avant, le disque est formé d'une matière résistive. En absence de décharge, le disque mobile $(P0)$ est sur le potentiel de terre (T) . Cependant, cette fois, la distance de claquage diélectrique est périodiquement ramenée à une valeur contrôlée par la différence de potentiel entre une quelconque électrode $(P1)$ ou $(P2)$ ou $(P3)$ et la bosse (B) . Lors du passage de cette bosse en rotation devant une quelconque électrode $(P1)$ ou $(P2)$ ou $(P3)$, une première décharge s'établit à la suite du rapprochement de la distance entre le disque $(P0)$ et la bosse (B) . Cette décharge pilote est parcourue par un courant limité par la résistance entre son pied d'attachement au disque et l'axe du disque. A cet instant le potentiel du disque dans sa partie proche de la circonférence devient proche de celui de la phase donnant lieu à la décharge pilote. Les différences entre ce potentiel et les potentiels des phases qui ne sont pas encore connectées au disque sont donc proches des tensions à vide entre les phases de haute tension du transformateur. Deux autres décharges s'installent donc et immédiatement elles deviennent puissantes car maintenant, sous les tensions entre les phases, les seules résistances limitant le courant sont celle de la bande résistive proche à la circonférence du disque, la résistance de la décharge elle-même et l'impédance du transformateur. Une fois ces trois décharges installées, nous créons un espace autour du disque tellement ionisé que ces trois décharges ne disparaissent plus ou plutôt qu'elles se rallument sans aucun problème, de façon préférentielle lors d'un passage de la bosse devant une électrode stationnaire.

Ajoutons ici, que la forme arrondie de la bosse et sa relative petite taille $(d-)$, de préférence jusqu'à 10 mm maximum, facilite l'allumage ou le rallumage des décharges et en même temps protège cette forme contre l'érosion thermique. Il arrive que la bosse passe rapidement devant une électrode stationnaire quand la décharge principale est bien installée. Ceci raccourcit la décharge périodiquement (dans notre exemple la fréquence de cet événement est égale au triple de la fréquence de rotation du disque) et augmente un peu son courant. Cependant, l'augmentation du

courant n'est pas dramatique car de toute façon le courant est limité par la résistance de l'autre décharge, toujours en série, et par la résistance dépendant de la nature de l'électrode ($P0$).

REVENDECATIONS

1) Dispositif et circuit d'allumage et de rallumage d'une décharge électrique instable entre les électrodes principales (1), caractérisés par la présence d'une électrode (2) implantée au milieu géométrique des électrodes (1) de cette décharge quasi périodique, comme le montrent les Figures 8 et 9, l'électrode (2) étant indépendamment alimentée par un circuit (3) et (4) lui fournissant des impulsions de haute tension de plusieurs dizaines de kV par rapport aux électrodes (1) ce qui crée une décharge supplémentaire d'allumage et de rallumage de cette instable décharge entre les électrodes (1), la dite décharge d'allumage et de rallumage passant entre l'électrode (2) et une quelconque électrode (1), sachant que la décharge d'allumage et de rallumage s'amorce successivement entre chacune des électrodes principales (1) et l'électrode d'allumage et de rallumage (2) en formant ainsi entre les électrodes (1) et l'électrode (2) un chemin de courant pour le circuit principal d'alimentation de la décharge instable entre les électrodes (1) et sachant que la décharge d'allumage a une telle fréquence de répétition qu'elle se présente sous forme d'étincelles individuelles avec un temps de répétition entre deux étincelles qui est inférieur à la période d'un cycle d'amorçage et d'extinction de la décharge instable se développant entre les électrodes principales (1) portées aux potentiels relatifs de l'ordre de quelques kV et éloignées de façon à empêcher l'allumage de la décharge principale en absence de l'électrode (2) et de son circuit activé d'amorçage (3) et (4).

2) Electrode d'allumage et de rallumage (2) selon la revendication 1, caractérisée par sa forme, telle que présentée sur la Figure 9b, ressemblant à l'ossature d'un parapluie partiellement ouvert ou autrement à une étoile (vue du dessus) dont chacune des branches tend vers une des électrodes principales (1) ce qui fait amorcer une décharge pilote de façon sélective et automatique entre l'électrode (2) et une des électrodes principales (1) se trouvant sans décharge, suite à quoi ces deux électrodes sont immédiatement court-circuitées par une étincelle, après quoi l'électrode (2) sert de pont de court-circuit des électrodes (1) de façon à ce que les décharges, devenues principales, glissent sur l'électrode (2) dans un flux jusqu'à ce qu'elles se rejoignent au sommet de l'électrode (2) grâce à sa forme divergente (vue de côté), après quoi ces décharges principales se propagent librement entre les électrodes (1) jusqu'à l'extinction, sachant encore que la forme de l'électrode (2) est adaptée au flux qui la contourne de façon à ce que ce flux passe entre les branches de l'étoile et facilite le glissement des décharges d'amorçage sur l'électrode (2) sans créer un détournement du flux ni un échauffement excessif de l'électrode (2) faite préférentiellement avec un matériel réfractaire conducteur ou un métal ayant une température de fusion élevée.

3) Dispositif autonome d'allumage, de rallumage et d'alimentation d'une décharge électrique instable entre deux électrodes, basé sur un transformateur tel que spécifié sur la Figure 10, comportant deux enroulements primaires de basse tension (P_1) de puissance et (P_2) d'impulsions à amplitude et phase réglables, ainsi qu'un seul enroulement secondaire (S) de haute tension, dispositif caractérisé en ce qu'on superpose dans l'enroulement secondaire (S) du transformateur les effets donnés par chaque enroulement primaire, sachant que ce transformateur présente une induction magnétique de noyau d'environ 30 % plus élevée qu'une valeur habituelle et qu'une source d'impulsions fournit à son enroulement (P_2) des pics de courant fort correspondant à des

impulsions d'amorçage d'une amplitude au minimum égale à la valeur crête du signal sinusoïdal fourni à l'enroulement (P_1) et une durée limitée inférieure à 1 ms, le dispositif se caractérisant encore par le fait que le moment d'amorçage de la décharge principale est très proche du moment de passage par zéro de la tension sinusoïdale de puissance.

5 4) Circuit d'auto-allumage et de rallumage en cascade contrôlée, tel que présenté sur la Figure 12, alimentant simultanément trois ou plusieurs électrodes connectées à une seule source électrique et caractérisé en ce que plusieurs décharges de haute tension sont amorcées l'une après l'autre par une propagation de décharges pilotes de l'ordre de la dizaine du mA, allumées grâce à des résistances de l'ordre du $M\Omega$ qui relient les électrodes en assurant ainsi une liaison galvanique du circuit qui autrement serait rompu, après quoi les décharges instables de puissance sont immédiatement établies en série et rallumées après une rupture du courant, le circuit étant caractérisé encore par des valeurs de résistances telles que la résistance court-circuitée par une décharge pilote précédente est supérieure à celle qui va prendre en charge la décharge pilote suivante, ceci pour assurer une progression en valeur du courant pour chaque décharge pilote
10 suivant des développements de décharges pilotes en série.

15 5) Circuit d'auto-allumage, de rallumage et d'alimentation simultanée des décharges instables de haute tension entre neuf électrodes de puissance connectées à un seul transformateur triphasé, circuit caractérisé en ce que neuf décharges en série - parallèle sont établies de la façon présentée sur la Figure 13, permettant d'amorcer ces décharges par une propagation de décharges pilotes allumées grâce à des résistances de l'ordre du $M\Omega$ placées
20 comme indiqué sur la Figure 13 et reliant les électrodes de façon à assurer une liaison galvanique de chaque branche du circuit triphasé qui autrement serait rompu, après quoi les neuf décharges instables de puissance sont établies en série et en parallèle et/ou rallumées automatiquement après la rupture d'un quelconque courant dans une quelconque branche du circuit.

25 6) Circuit étagé, tel que présenté sur la Figure 14a, d'auto-allumage et de rallumage successif d'une décharge instable de haute tension entre deux paires d'électrodes qui sont connectées à une seule source d'alimentation, circuit caractérisé en ce qu'une décharge pilote s'amorce entre deux électrodes de démarrage qui sont rapprochées l'une de l'autre de façon à permettre l'allumage de la décharge pilote sous la tension de la source, la décharge pilote étant
30 limitée en courant par une ou deux résistances en série avec la source, cette même décharge pilote étant portée par un flux de matière diluée vers l'autre paire d'électrodes de puissance alimentées directement par la même source, sans entrer en contact galvanique avec ces électrodes de puissance, ceci éventuellement par une mise en quinconce de deux étages d'électrodes successifs, la décharge pilote provoquant une ionisation partielle entre ces électrodes
35 de puissance beaucoup plus écartées que les électrodes de démarrage, cette ionisation provenant des ions et électrons générés dans la décharge pilote et dispersés dans la direction du flux, ce qui permet ainsi d'allumer et d'entretenir une décharge principale de puissance entre ces électrodes de puissance dans un milieuensemencé par ces particules ionisantes, jusqu'à son extinction suite à son glissement vers l'extrémité des électrodes de puissance.

7) Circuit étagé, tel que présenté sur la Figure 14b, d'auto-allumage et de rallumage successif d'une décharge instable de haute tension entre plusieurs paires d'électrodes qui sont connectées à une seule source d'alimentation, circuit caractérisé en ce qu'une décharge pilote s'amorce tout d'abord entre les deux électrodes de démarrage qui sont les plus rapprochées l'une de l'autre de façon à permettre d'allumer cette décharge pilote sous la tension de la source, la décharge pilote étant limitée en courant par plusieurs résistances en série avec la source, cette même décharge pilote étant ensuite portée par un flux de matière diluée vers une autre paire d'électrodes voisines, plus écartées et alimentées par la même source à travers les résistances en série dont les valeurs sont inférieures à celles des résistances mises en série pour la décharge précédente et, sans entrer en contact galvanique avec ces électrodes voisines, ceci éventuellement par une mise en quinconce des étages d'électrodes voisins, la décharge provoque une ionisation partielle entre ces électrodes voisines, cette ionisation provenant des ions et électrons générés dans la décharge précédente et dispersés dans la direction du flux, ce qui permet ainsi d'allumer une décharge suivante plus puissante que la décharge précédente, le mouvement de décharges de plus en plus puissantes se poursuivant de la même façon dans la direction du flux jusqu'à ce que une décharge ultime s'installe entre les deux électrodes de puissance les plus écartées et directement connectées à la même source d'alimentation, et puis s'éteigne suite à son glissement vers l'extrémité des électrodes de puissance.

8) Circuit à segmentation infiniment fine et continue, similaire à celui présenté sur la Figure 14b, pour un auto-allumage et rallumage d'une décharge instable de haute tension entre deux électrodes connectées à une seule source d'alimentation, le circuit étant caractérisé en ce qu'au moins une des deux électrodes est taillée dans une matière électriquement résistive telle qu'un composite métal - céramique et que le point de connexion électrique d'une telle électrode de la forme d'un couteau ou d'un bâton est placé là où cette électrode est la plus éloignée de l'autre électrode du circuit de façon à créer une résistance continue en série avec la source d'alimentation, résistance qui est minimale près du point de connexion et maximale vers le point où l'électrode est la plus rapprochée de l'autre électrode du circuit, ce qui a pour conséquence l'allumage d'une décharge pilote dans l'espace le plus restreint entre les électrodes avec une limitation de courant par la résistance maximale du circuit présentée par l'électrode elle même, sachant que suite au glissement de la décharge poussée par un flux, sur les électrodes divergentes elle prend une position de plus en plus avantageuse car la résistance extérieure en série diminue, alors que la résistance propre de la décharge augmente, et sachant qu'alors le courant résultant de la décharge augmente ainsi que sa longueur et puissance électrique dissipée dans la décharge, alors que la chaleur dissipée par effet de Joule dans l'électrode diminue progressivement jusqu'à ce que la décharge, devenue puissante, s'éteigne suite à son glissement vers l'extrémité des électrodes, ces dernières étant tellement écartées que la tension d'alimentation de la décharge devient insuffisante pour l'entretenir, suite à quoi une nouvelle décharge peut être générée entre les électrodes.

9) Circuit selon une quelconque revendication 6 à 8 caractérisé en ce que la source d'alimentation est composée de plusieurs pôles de potentiel différent tels que dans un générateur polyphasé, et qu'en conséquence plusieurs décharges instables de haute tension sont générées

entre plusieurs électrodes, chaque décharge passant par un cycle d'amorçage suivi d'un développement jusqu'à ce que la décharge devienne puissante et ensuite qu'elle s'éteigne à cause de son glissement vers la fin des électrodes, celles-ci étant tellement écartées que la tension d'alimentation de la décharge devient insuffisante pour l'entretenir, suite à quoi une nouvelle décharge est générée entre ces multiples électrodes.

- 5
- 10
- 15
- 20
- 25
- 10) Circuit et électrode (P0) tels que présentés sur la Figure 15b pour un auto-allumage et un rallumage de trois décharges électriques instables de haute tension réalisées dans un dispositif avec cette électrode (P0) ayant la forme d'un disque en rotation par rapport aux trois électrodes stationnaires se trouvant à des distances moyennées sensiblement les mêmes (d) et connectées à trois phases d'un transformateur à haute tension, caractérisé en ce que l'électrode tournante est formée d'une matière présentant quelques $M\Omega$ de résistance entre l'axe de l'électrode et un point situé sur sa circonférence et également présentant une certaine de résistance de l'ordre du $k\Omega$ entre deux quelconques points situés sur sa circonférence et éloignés de 120° , ce qui permet d'établir une première décharge pilote entre une phase et cette électrode (P0) lors du passage d'une petite bosse conductrice (B) située sur la circonférence de l'électrode (P0), la décharge étant parcourue par un courant limité par la résistance entre le pied d'attachement de la décharge à l'électrode (P0) et son axe, la bosse ayant une hauteur (d_-), de préférence jusqu'à 10 mm maximum et telle que (d_-) < (d), sachant que cette première décharge pilote ne pourrait pas se former entre une quelconque phase du transformateur et l'électrode (P0) sans la bosse pour les tensions délivrées par le transformateur, le circuit étant caractérisé encore par le fait qu'après l'établissement de la décharge pilote les deux autres électrodes deviennent connectées immédiatement entre elles et l'électrode (P0), ce qui provoque également une forte augmentation du courant dans la décharge précédente pilote ainsi que dans deux autres décharges, sachant que ces courants deviennent maintenant limités par les résistances de la bande résistive proche à la circonférence du disque, par la résistance de la décharge elle-même et par l'impédance du transformateur, et de ce fait les trois décharges de puissance sont installées créant ainsi un espace autour du disque tellement ionisé que ces trois décharges ne disparaissent plus ou plutôt qu'elles se rallument sans aucun problème, de façon préférentielle lors du passage de la bosse devant une électrode stationnaire.

REVENDEICATIONS

1) Dispositif d'allumage et de rallumage d'une décharge électrique instable entre les électrodes principales (1), caractérisé par la présence d'une électrode supplémentaire d'allumage et de rallumage (2) implantée au milieu géométrique des électrodes (1) de cette décharge quasi périodique, l'électrode (2) étant indépendamment alimentée par un circuit (3) et (4) lui fournissant des impulsions de haute tension de plusieurs dizaines de kV par rapport aux électrodes (1) ce qui crée une décharge supplémentaire d'allumage et de rallumage de cette instable décharge principale entre les électrodes (1), la dite décharge d'allumage et de rallumage passant entre l'électrode (2) et une quelconque électrode (1), sachant que la décharge d'allumage et de rallumage s'amorce successivement entre chacune des électrodes principales (1) et l'électrode supplémentaire (2) en formant ainsi entre les électrodes (1) et l'électrode (2) un chemin de courant pour le circuit principal d'alimentation de la décharge principale entre les électrodes (1) et sachant que la décharge d'allumage et de rallumage a une telle fréquence de répétition qu'elle se présente sous forme d'étincelles individuelles avec un temps entre deux étincelles qui est inférieur à la période d'un cycle d'amorçage et d'extinction de la décharge principale instable se développant entre les électrodes (1) portées à des tensions relatives entre elles de l'ordre de quelques kV seulement.

2) Dispositif selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'électrode d'allumage et de rallumage (2) a une forme ressemblant à l'ossature d'un parapluie partiellement ouvert ou autrement à une étoile (vue du dessus) dont chacune des branches tend vers une des électrodes principales (1) éloignées, ces branches ayant une forme qui présente des pointes avec un rayon de courbure de l'ordre de dixièmes de mm, ce qui permet amorcer une décharge pilote de façon sélective et automatique entre l'électrode (2) et une des électrodes principales (1) se trouvant sans décharge, suite à quoi l'électrode (2) sert de pont de court-circuit des électrodes (1) de façon à ce que les décharges, devenues principales, glissent sur l'électrode (2) dans un flux jusqu'à ce qu'elles se rejoignent au milieu entre les électrodes grâce à la forme divergente (vue de côté) de l'électrode (2), après quoi ces décharges principales se propagent librement entre les électrodes (1) jusqu'à l'extinction, sachant encore que la forme de l'électrode (2) est adaptée au flux qui la contourne de façon à ce que ce flux passe entre les branches de l'étoile et facilite le glissement des décharges d'amorçage sur l'électrode (2) sans créer un détournement du flux ni un échauffement excessif de l'électrode (2) faite préférentiellement avec un matériel réfractaire conducteur d'électricité ou un métal ayant une température de fusion élevée.

3) Dispositif selon la revendication 1 caractérisé à ce que le circuit d'allumage et de rallumage (3) et (4) d'une décharge électrique instable entre les électrodes principales (1) est indépendant par rapport au circuit principal de puissance alimentant cette instable décharge entre les électrodes principales, cette indépendance étant réalisée par une capacité (C_s) séparant le circuit d'allumage et de rallumage du circuit d'alimentation principale ce qui empêche que le courant électrique de l'alimentation de puissance de la décharge principale passe, après son

- établissement, par le transformateur d'impulsions, sachant encore que le temps entre deux impulsions d'allumage et de rallumage est supérieur au temps de relaxation des oscillations du circuit mais bien inférieur à la période d'un cycle de la décharge principale afin de minimiser le temps mort entre deux décharges principales, le temps entre deux étincelles individuelles
- 5 d'allumage et de rallumage étant ajusté par les paramètres du circuit oscillatoire RLC d'allumage et de rallumage (3) et (4) de sorte que Q (le facteur de qualité dudit circuit oscillatoire) soit $\approx 1/2$ afin que l'énergie électromagnétique du circuit soit transmise dans la décharge le plus rapidement.

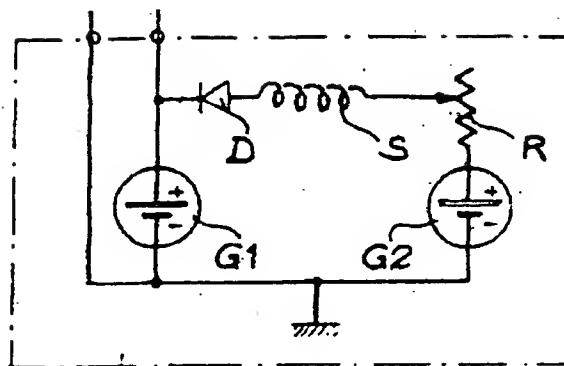


Fig. 1

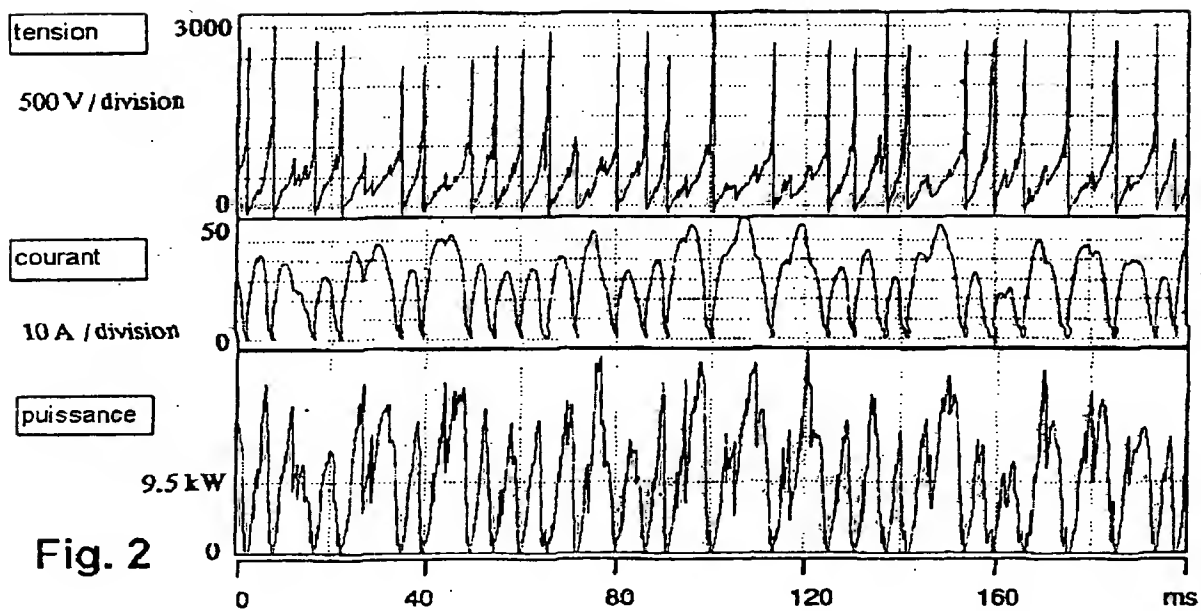
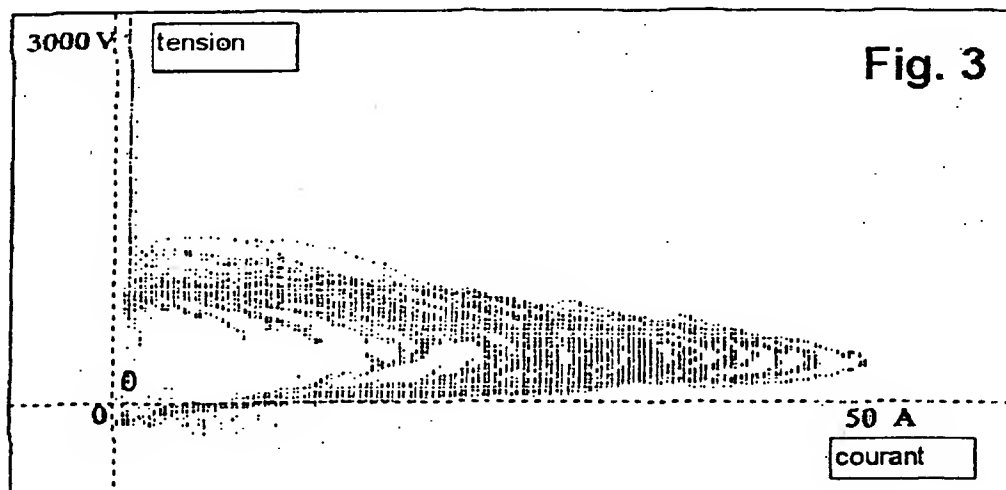
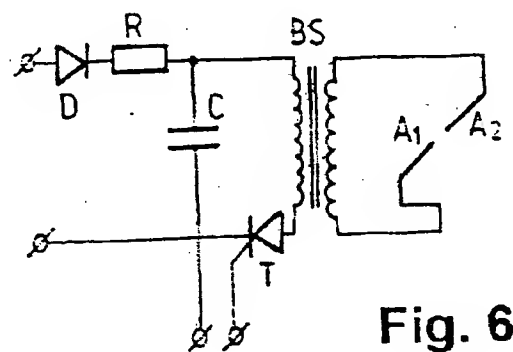
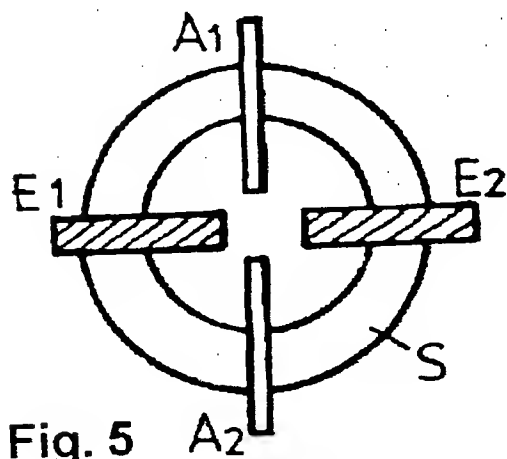
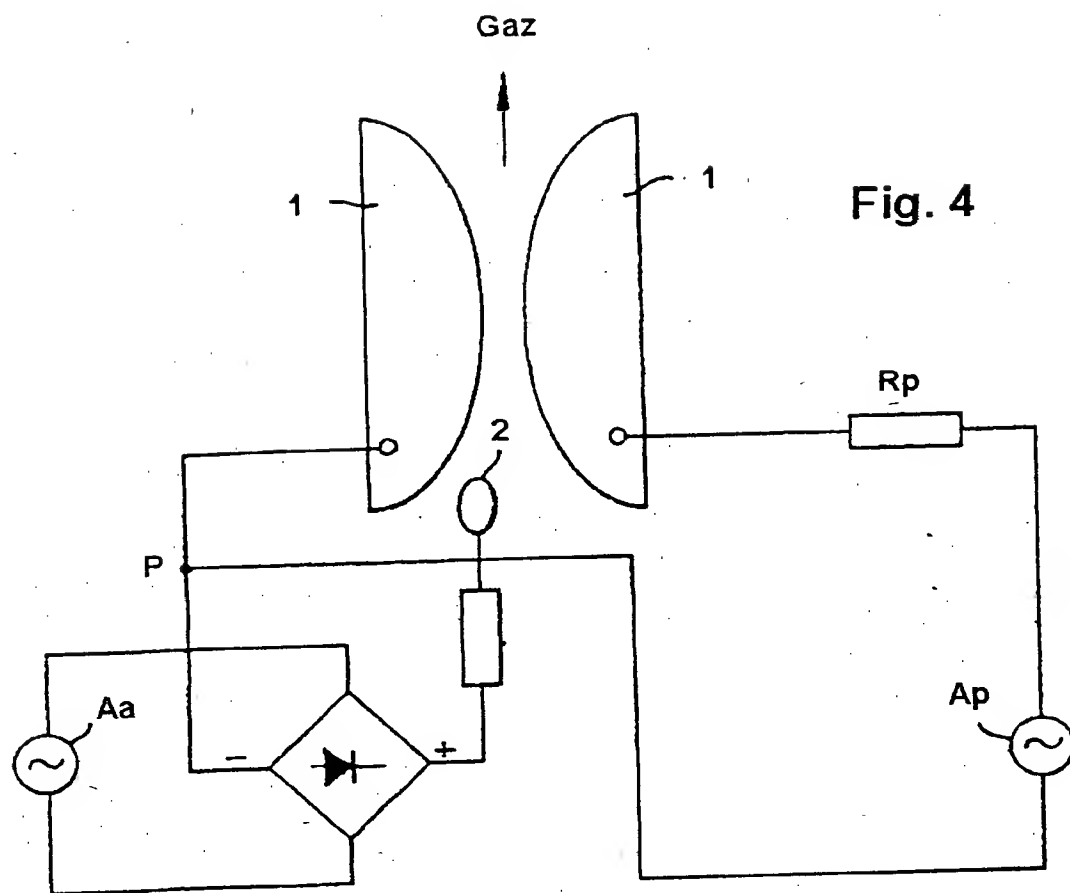


Fig. 2





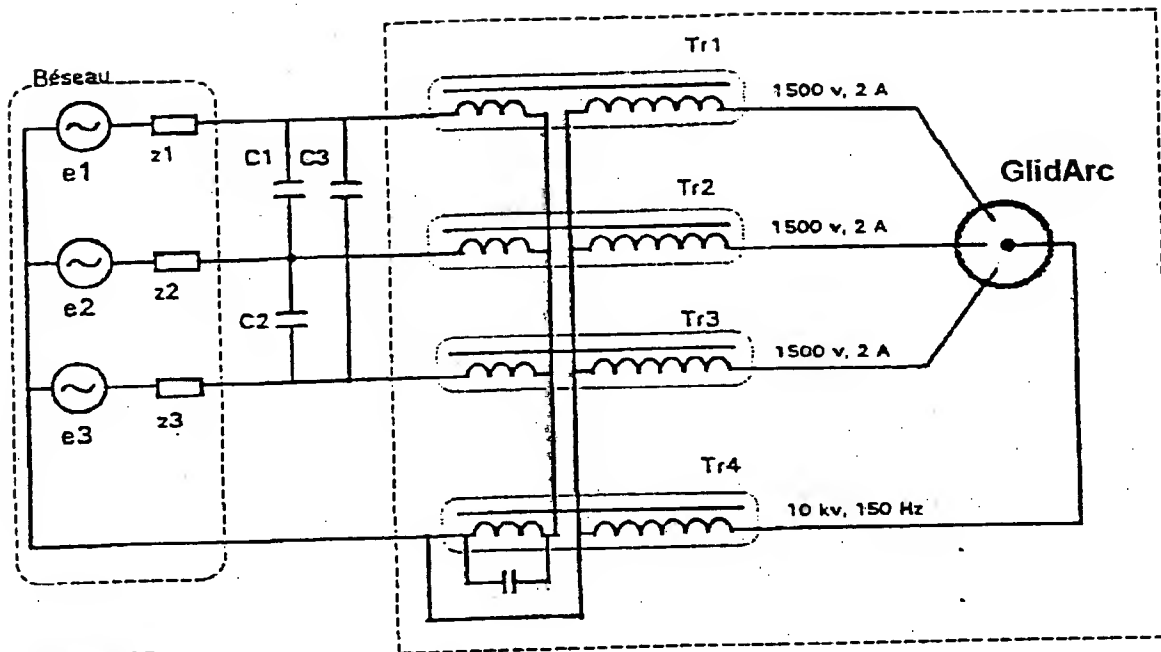


Fig. 7

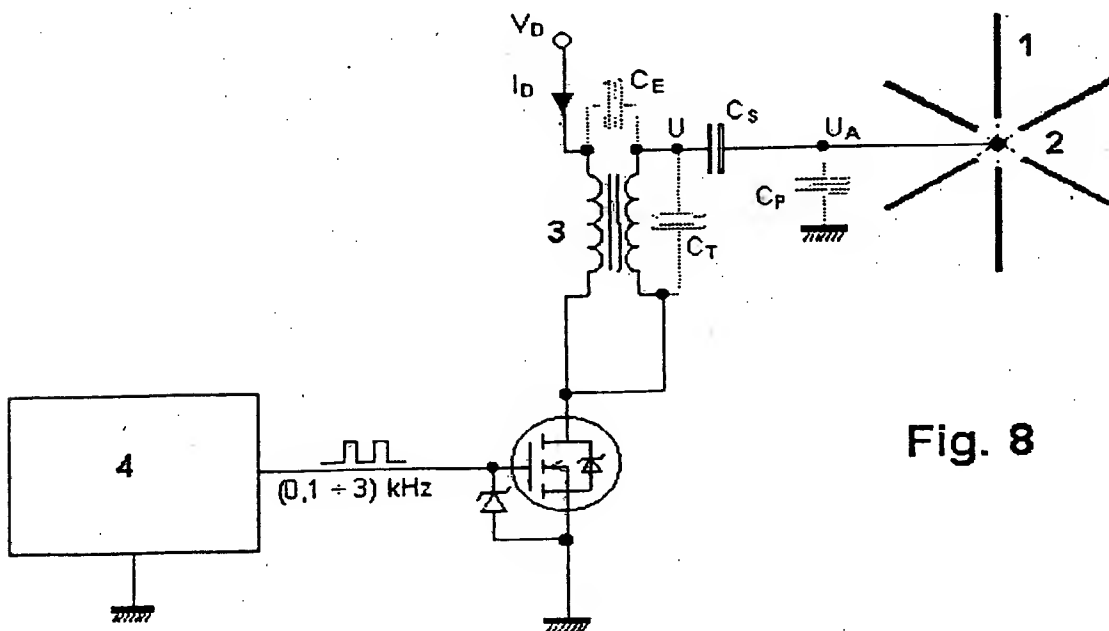


Fig. 8

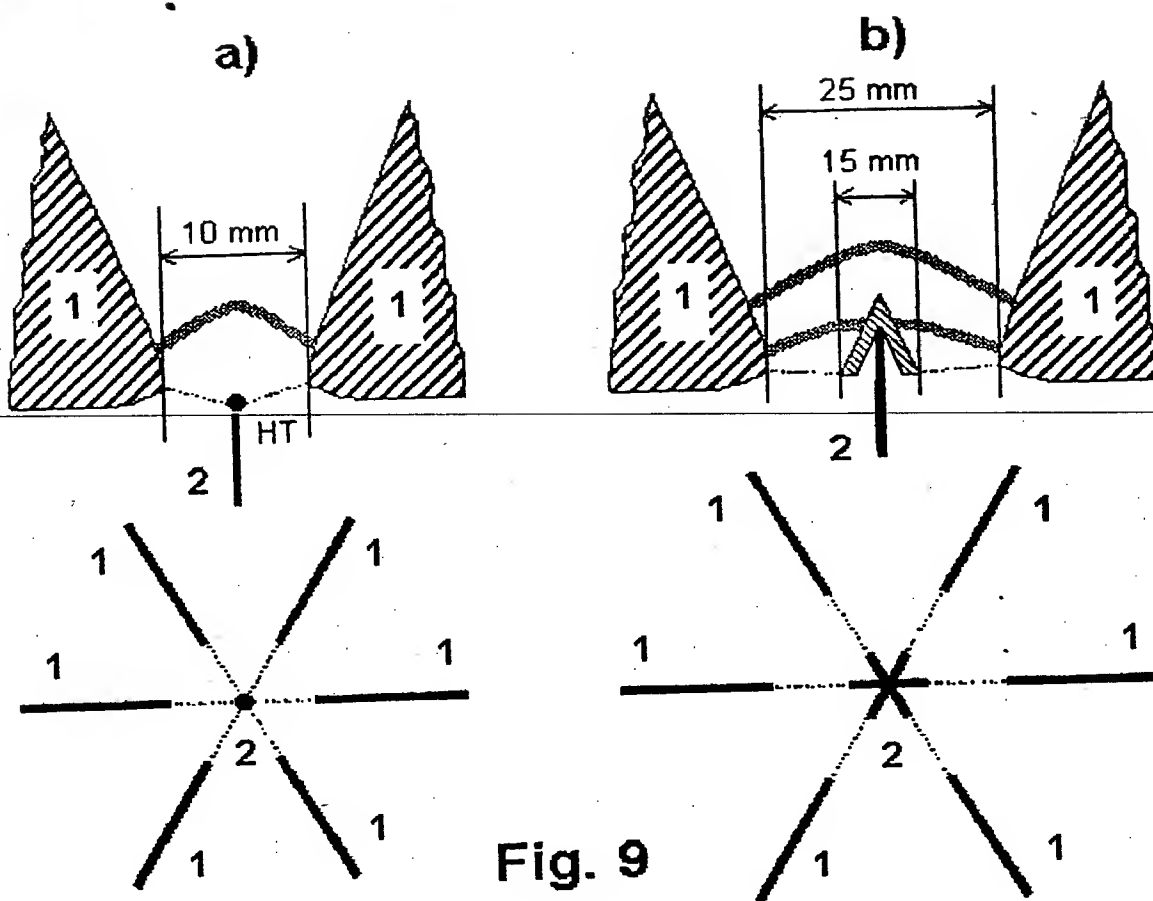


Fig. 9

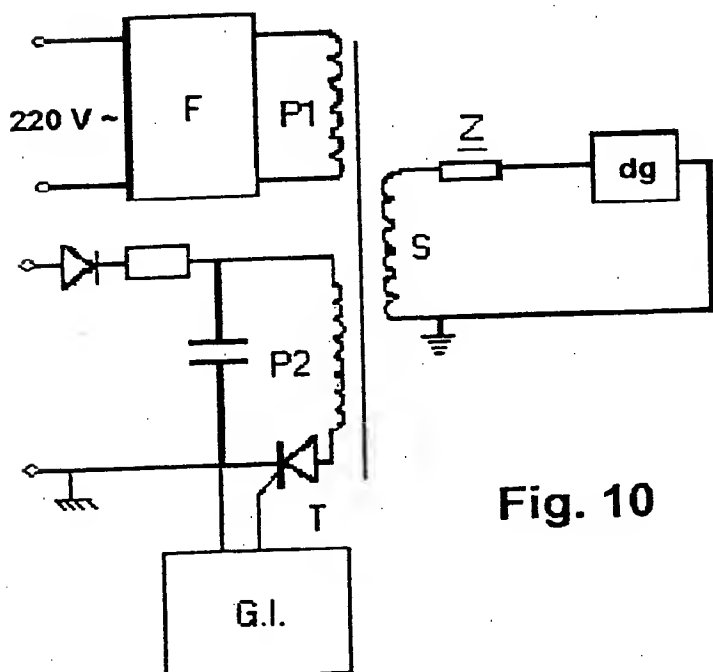
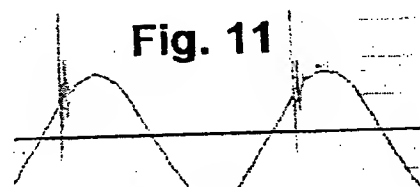


Fig. 10



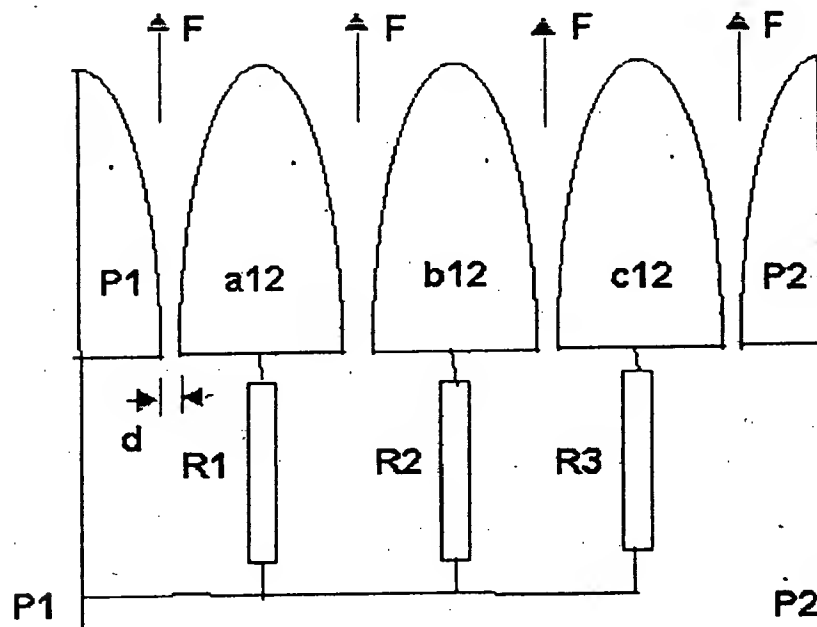


Fig. 12

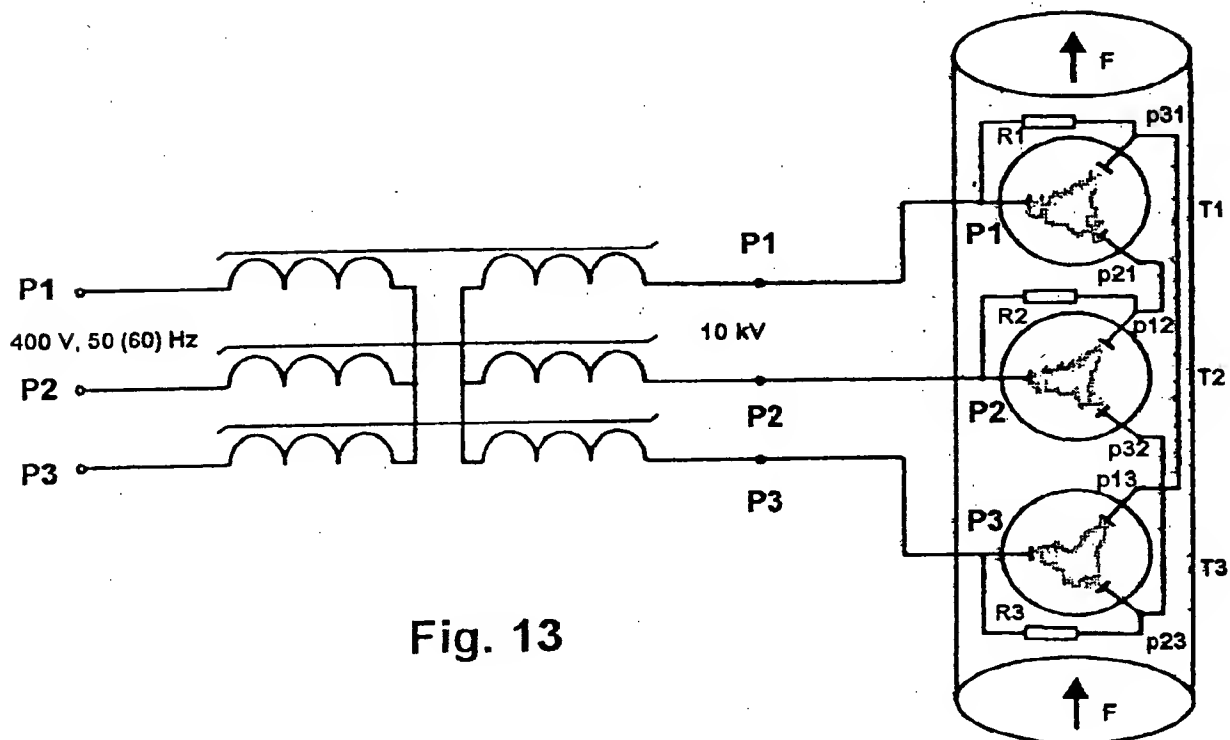
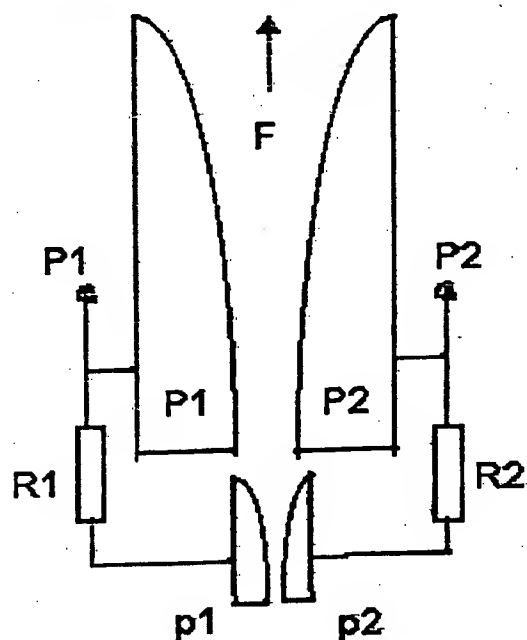
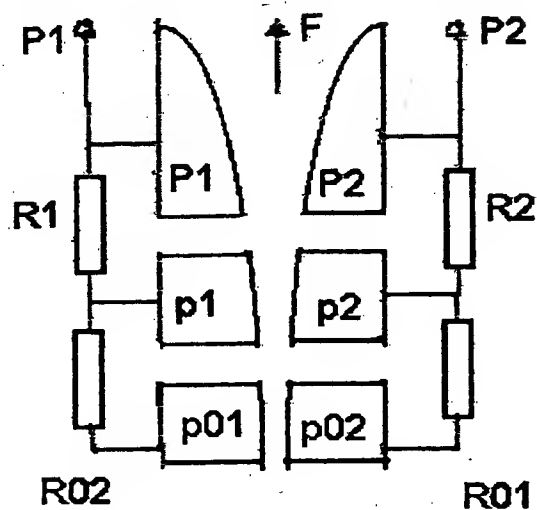


Fig. 13



a)



b)

Fig. 14

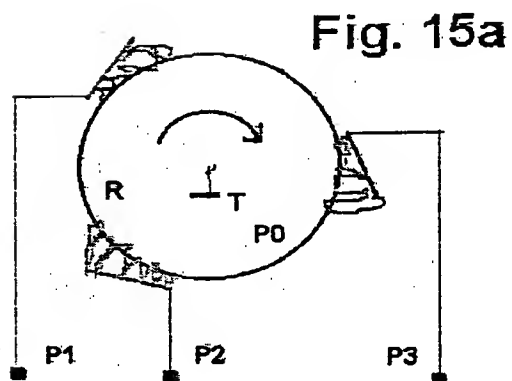


Fig. 15a

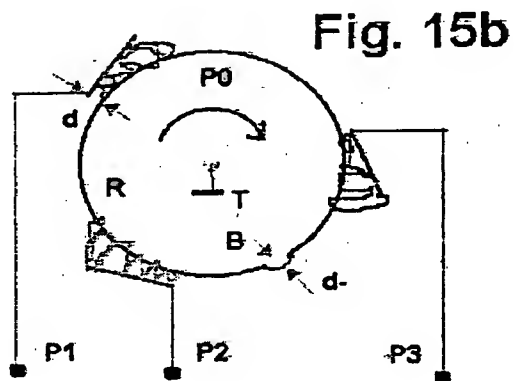


Fig. 15b

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.